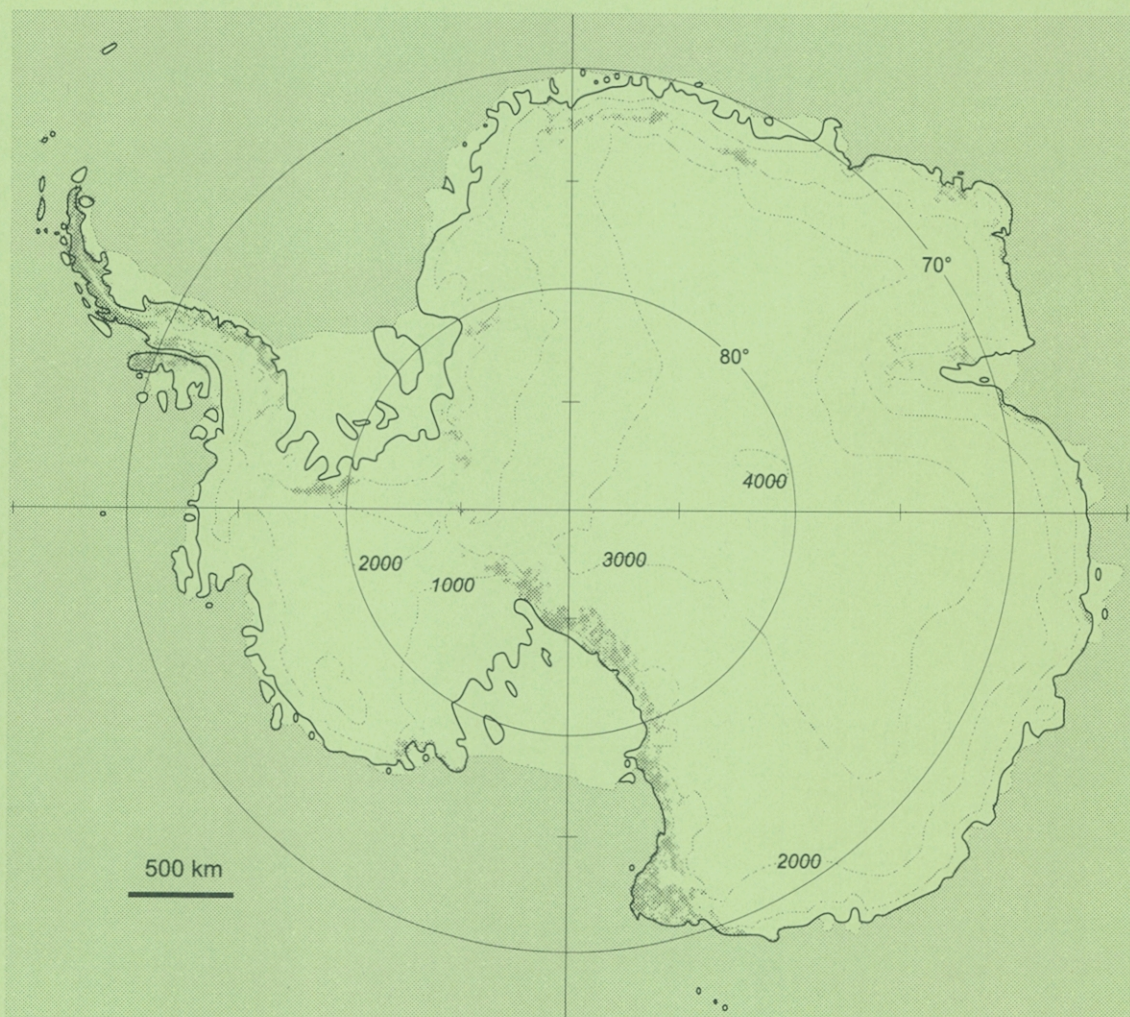


第29回極域地学シンポジウム プログラム・講演要旨

The 29th Symposium on Polar Geosciences
Program and Abstracts

8-9 October 2009



国立極地研究所

National Institute of Polar Research
Tokyo, Japan

第29回 極域地学シンポジウム 日程表 (2009年度)

10月8日 (木) 8 Oct. (Thursday)	10月9日 (金) 9 Oct. (Friday)
<p>国立極地研究所長挨拶 Opening address by Director-General, NIPR 10:30 - 10:35</p>	<p>V. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (2) Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (2) 6講演 (15-20) 10:00 - 12:00 (120分) 座長 : 外田 智千・極地研 本吉 洋一・極地研 Chair : Hokada, T., NIPR Motoyoshi, Y., NIPR</p>
<p>I. 南極氷床・南大洋変動史の復元と地球環境変動システムの解明 History and Environmental change on and around Antarctica 5講演 (1-5) 10:35 - 12:15 (100分) 座長 : 和田 秀樹・静岡大 三浦 英樹・極地研 Chair : Wada, H., Shizuoka Univ. Miura, H., NIPR</p>	
<p>昼食 Lunch 12:15 - 13:15</p>	<p>昼食 Lunch 12:00 - 13:00</p>
<p>II. 測地・固体地球物理(1) Geodesy and geophysics(1) 4講演 (6-9) 13:15 - 14:35 (80分) 座長 : 金尾 政紀・極地研 臼井 祐介・愛媛大 Chair : Kanao, M., NIPR Usui, Y., Ehime Univ.</p>	<p>VI. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (3) Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (3) 6講演 (21-26) 13:00 - 15:00 (120分) 座長 : 大和田 正明・山口大 馬場 壮太郎・琉球大 Chair : Owada, M., Yamaguchi Univ. Baba, S., Univ. of Ryukyus</p>
<p>III. ポスター説明 Poster Presentations 25講演 (101P-125P) 14:35 - 15:45 (70分) 座長 : 野木 義史・極地研 Chair : Nogi, Y., NIPR</p>	<p>休憩 Coffee Break 15:00 - 15:20</p>
<p>休憩 Coffee Break 15:45 - 16:00</p>	<p>VII. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (4) Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (4) 2講演 (27-28) 15:20 - 16:00 (40分) 座長 : 瀧谷 和雄・極地研 Chair : Shibuya, K., NIPR</p>
<p>IV. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス(1) Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (1) 5講演 (10-14) 16:00 - 17:40 (100分) 座長 : 小山内 康人・九州大 Chair : Osanai, Y., Kyusyu Univ.</p>	<p>VIII. 測地・固体地球物理(2) Geodesy and geophysics(2) 4講演 (29-32) 16:00 - 17:20 (80分) 座長 : 福田 洋一・京都大 Chair : Fukuda, Y., Kyoto Univ.</p>
<p>懇親会 Conference Party 18:00 - 19:00</p>	

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

Program for the 29th Symposium on Polar Geosciences, 2009

8 October (Thursday, 10:30—17:40) & 9 October (Friday, 10:00—17:20)

開会 (10:30—10:35)	所長挨拶	国立極地研究所長：藤井 理行
	Opening address	Director-General, National Institute of Polar Research : Fujii, Y.

I. 南極氷床・南大洋変動史の復元と地球環境変動システムの解明	座長：和田 秀樹・静岡大
History and Environmental change on and around Antarctica	三浦 英樹・極地研
	Chair : Wada, H., Shizuoka Univ.
	Miura, H., NIPR

1 (10:35—10:55)	南極海リュツォホルム湾沖における過去65万年間の古海洋変動		
	Paleoceanographic variations off Lutzow-Holm Bay in the Antarctic Ocean during the past 650 kyrs		
	池原 実	Ikehara, M.	高知大
		Khim, B. K.	釜山国立大
	香月 興太	Katsuki, K.	高知大
	菅沼 悠介	Suganuma, Y.	極地研
			Kochi Univ.
			Pusan National Univ.
			Kochi Univ.
			NIPR

2 (10:55—11:15)	地磁気変動に基づく海底堆積物とアイスコアの高精度年代対比 —B-M境界の新年代—		
	Synchronization between marine sediments and ice core based on Be-10- flux records: implication for the age of the Brunhes-Matuyama boundary		
	菅沼 悠介	Suganuma, Y.	極地研
	横山 佑典	Yokoyama, Y.	東京大
	川村 賢二	Kawamura, K.	極地研
	山崎 俊嗣	Yamazaki, T.	産総研
			NIPR
			Univ. of Tokyo
			NIPR
			AIST

3 (10:45—11:05)	南極ウィルクスランド沖海底堆積物の複数コアでの地磁気・気候変動の研究		
	Study of geomagnetic and climatic variation on several cores of marine sediments from Wilkes Land offshore at Antarctic		
	宮川 尚士	Miyagawa, T.	富山大
	酒井 英男	Sakai, H.	富山大
	横山 美穂	Yokoyama, M.	富山大
	松岡 東香	Matsuoka, H.	筑波学院大
	船木 貴	Funaki, M.	極地研
			Toyama Univ.
			Toyama Univ.
			Toyama Univ.
			Tsukuba Gakuin Univ.
			NIPR

4 (11:35—11:55)	きざはし浜における完新世中期の海水準変動より推定される急激な東南極氷床の融解		
	Mid-Holocene rapid melting of East Antarctic Ice Sheet inferred from relative sea-level change at Kiazhasi beach.		
	奥野 淳一	Okuno, J.	極地研
	三浦 英樹	Miura, H.	極地研
			NIPR
			NIPR

5 (11:55—12:15)	GRACE、ICESat衛星から観測された経年変化トレンドとGIAモデルとの比較およびその解釈について		
	Comparison of GRACE mass trend and ICESat elevation trend with GIA models		
	山本 圭香	Yamamoto, K.	地球研
	福田 洋一	Fukuda, Y.	京都大
	土井 浩一郎	Doi, K.	極地研
			RIHN
			Kyoto Univ.
			NIPR

(12:15—13:15)	昼食	Lunch
---------------	----	-------

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

Ⅱ. 測地・固体地球物理(1)

Geodesy and geophysics(1)

座長：金尾 政紀・極地研

臼井 佑介・愛媛大

Chair : Kanao, M., NIPR

Usui, Y., Ehime Univ.

-
- 6 (13:15 - 13:35) 南極・昭和基地における地震検知率の推移 - 1987~2007 -
Detection capability of teleseismic events recorded at syowa station, antarctica-1987~2007-
金尾 政紀 Kanao, M. 極地研 NIPR
-
- 7 (13:35 - 13:55) 統計手法による南極大陸周辺での地震活動解析
Analysis of the seismicity around the Antarctic plate by the statistical method
姫野 哲人 Himeno, T. 情報・システム研究機構 ROIS
金尾 政紀 Kanao, M. 極地研 NIPR
尾形 良彦 Ogata, Y. 統数研
-
- 8 (13:55 - 14:15) モーメントテンソル震源による全地球地震波動場の計算および極域地震波形データとの比較
Global seismic waveform modeling with moment-tensor sources for comparison with waveform data obtained on Antarctica
豊国 源知 Toyokuni, G. 極地研 NIPR
竹中 博士 Takenaka, H. 九州大 Kyusyu Univ.
金尾 政紀 Kanao, M. 極地研 NIPR
-
- 9 (14:15 - 14:35) 多結晶体の弾性計算によるD''層の異方性モデリング
Numerical modeling of D'' anisotropy by the calculation for polycrystalline elasticity
臼井 佑介 Usui, Y. 愛媛大 Ehime Univ.
土屋 卓久 Tsuchiya, N. 愛媛大 Ehime Univ.
-

Ⅲ. ポスター説明 Poster Presentations

(14:35 - 15:45)

座長：野木 義史・極地研

Chair : Nogi, Y., NIPR

-
- 101P JARE-51 セール・ロンダーネ山地地学調査計画概要
Action Plan for Geoscience Expedition of Sor Rondane Mountains in JARE-51
土屋 範芳 Tsuchiya, N. 東北大 Tohoku Univ.
石川 正弘 Ishikawa, M. 横浜国大 Yokohama National Univ.
M. サティッシュ・クマール M. Satish-Kumar 静岡大 Shizuoka Univ.
河上 哲生 Kawakami, T. 京都大 Kyoto Univ.
他11名
-
- 102P 東南極・セールロンダーネ山地中央部における変成経路と年代との対応
Correspondence between P-T paths and U-Pb ages in the central Sor Rondane Mountains, East Antarctica.
足立 達朗 Adachi, T. 総研大 GUAS
外田 智千 Hokada, T. 極地研 NIPR
小山内 康人 Osanai, Y. 九州大 Kyusyu Univ.
豊島 剛志 Toyoshima, T. 新潟大 Niigata Univ.
馬場 壮太郎 Baba, S. 琉球大 Univ. of Ryukyus
中野 伸彦 Nakano, N. 九州大 Kyusyu Univ.
-
- 103P 東南極リュッツホルム岩体明るい岬のザクロ石-普通角閃石コロナの形成条件
Formation of garnet-hornblende corona in Akarui Point, Lutzow-Holm Complex, East Antarctica
池田 剛 Ikeda, T. 九州大 Kyusyu Univ.
-

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

104P	東南極, 日の出岬の変成トーナライトの成因: 特にマグマの結晶作用について Origin of meta-tonalites at Cape Hinode, East Antarctica with special reference to fractional crystallization	孫 羽 廣井 美邦 大和田 正明	Sun yu Hiroi, Y. Owada, M.	千葉大 千葉大 山口大	Chiba Univ. Yamaguchi Univ.
105P	Carbon isotopic composition of graphite from Skallevikshalsen, Lützow Holm Complex, East Antarctica	宗 勇人 M. サティッシュクマール 本吉 洋一	So, H. M Satish-Kumar Motoyoshi, Y.	静岡大 静岡大 極地研	Shizuoka Univ. Shizuoka Univ. NIPR
106P	Laser ablation sulfur isotope analytical system at Shizuoka University	山崎 里英 M. サティッシュクマール 和田 秀樹	Yamazaki, R. Matsuda, J. M. Satish-Kumar Wada, H.	静岡大 静岡大 静岡大 静岡大	Shizuoka Univ. Shizuoka Univ. Shizuoka Univ. Shizuoka Univ.
107P	東南極, ナピア・レイナー境界付近の花崗岩質岩のSr, Nd同位体組成 Sr and Nd isotopic compositions of granitic rocks around boundary between Napier and Rayner complexes, East Antarctica.	加々島 慎一 和田 裕起	Kagashima, S. Wada, Y.	山形大 山形大	Yamagata Univ. Yamagata Univ.
108P	西エンダービーランドの原生代レイナー岩体, 太古代ナピア岩体の古地磁気測定 Paleomagnetic measurements of the Proterozoic Rayner and Archaean Napier complexes in the eastern Enderby Land,	石川 尚人	Ishikawa, N.	京都大	Kyoto Univ.
109P	超高温変成岩に含まれるCO ₂ およびCO ₂ + H ₂ O包有物の産状からみた流体の起源: 東南極ナピア岩体の例 CO ₂ and CO ₂ + H ₂ O fluid inclusions in ultrahigh-temperature metamorphic rocks from the Napier Complex, East Antarctica: implications for the origin of fluids	角替 敏昭 M. サントッシュ	Tsunogae, T. M. Santosh	筑波大 高知大	Univ. of Tsukuba Kochi Univ.
110P	東南極シルマツヘル地域に産する塩基性片麻岩類の全岩化学組成 Whole rock geochemistry of mafic gneisses in Schirmacher region, E. Antarctica	馬場 壮太郎 足立 達朗 中野 伸彦 外田 智千 豊島 剛志 小山内 康人	Baba, S. Adachi, T. Nakano, N. Hokada, T. Toyoshima, T. Osanai, Y.	琉球大 総研大 九州大 極地研 新潟大 九州大	Univ. of Ryukyus GUAS Kyusyu Univ. NIPR Niigata Univ. Kyusyu Univ.
111P	大陸縁辺域における地殻の融解作用と花崗岩形成: 西南極マリーバードランド、フォスディックミグマタイトー花崗岩複合岩体の例 Crustal anatexis and granite formation in a continental margin setting: an example of Fosdick migmatite-granite complex, Marie Byrd Land, West Antarctica	斉藤 哲 F.J.コーン M.ブラウン C.S.シドウェイ	Saito, S. Kohonen, F.J. Brown, M. Siddoway, C.S.	海洋研究開発機構 メーランド大学 メーランド大学 コロラドカレッジ	JAMSTEC Maryland Univ. Maryland Univ. Colorado College

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

112P	南インド, ケララ コンダライト帯の泥質ミグマタイト中の紅柱石とコランダム+石英について Andalusite and corundum + quartz in pelitic migmatites from the Kerala Khondalite Belt, South	加藤 睦実 三井 兵衛 廣井 美邦 M. サティッシュクマール D.ダンクレー	Kato, M. Mitsui, H. Hiroi, Y. M.Satish-Kumar Dunkley, D.	千葉大 千葉大 千葉大 静岡大 極地研	Chiba Univ. Chiba Univ. Chiba Univ. Shizuoka Univ. NIPR
113P	Mg十字石の周囲に発達するサフィリン+石英コロナからみた高压-超高温変成作用:南インド High-pressure and ultrahigh-temperature metamorphism of Mg-Al rock from southern India: evidence from sapphirine + quartz corona around magnesian staurolite	西宮 ゆき 角替 敏昭 M. サントッシュ	Nishimiya, Y. Tsunogae, T. M. Santosh	筑波大 筑波大 高知大	Univ. of Tsukuba Univ. of Tsukuba Kochi Univ.
114P	スリランカ中央部, ハイランド複合岩体における結晶質石灰岩を用いた変成温度の推定と同位体の挙動 Estimation of metamorphic temperature and carbon isotope behavior using marbles from Highland Complex, Sri Lanka	長田 雄祐 K.V.K ウイルバート 和田 秀樹	Osada, Y. Wilbert, K.V.K. Wada, H.	静岡大 静岡大	Shizuoka Univ. IFS Kandy, in Sri Lanka Shizuoka Univ.
115P	Evolution of C-O-H-F fluids constrained from oxide assemblages of a suite of granulites from Eastern Ghats Belt, India	鳥本 准司 サンカー・ボース カウシク・ダス 大西 一朗 S.カーマカ 篠田 圭司 ソムナス・ダスグプタ	Torimoto, J. Sankar Bose Kaushik Das Onishi, I Subrata Karmakar Shinoda, K Somnath Dasgupta	北大総合図書館 横国大 ベンガル工科大 日本電子 ジュタプール大 大阪市大 Indian Institute of Science Education and Research	Hokkaido Univ. Museum Yokohama National Univ. Bengal Eng. and Sci. Univ. JEOL Ltd. Jadavpur Univ. Osaka city Univ. Osaka city Univ.
116P	南大洋インド洋セクターコンラッド海台に記録された完新世における気候の変動と周期 Climate shift and oscillation of Holocene on the Conrad Rise in the Indian Sector of the Southern ocean	香月 興太 野木 義史 池原 実 横山 佑典 山根 雅子	Katsuki, K. Nogi, Y. Ikehara, M. Yokoyama, Y. Yamane, M.	高知大 極地研 高知大 東京大 東京大	Kochi Univ. NIPR Kochi Univ. Univ. of Tokyo Univ. of Tokyo
117P	南極海コアLHB-3PCに記録された過去60万年間の放散虫群集 Radiolarian fossil record in core LHB-3PC from the Antarctic Ocean during the past 600 kyr	板木 拓也 池原 実 菅沼 悠介 香月 興太	Itaki, T. Ikehara, M. Suganuma, Y. Katsuki, K.	産技研 高知大 極地研 高知大	AIST Kochi Univ. NIPR Kochi Univ.
118P	南極海リュツォホルム湾沖コアにおける過去65万年間の有機炭素量および有機炭素同位体比の変動 Variations of organic carbon content and carbon isotopes of organic matter off Lutzow-Holm Bay in the Antarctic Ocean during the past 650 kyrs	岡本 周子 池原 実	Okamoto, S. Ikehara, M.	高知大 高知大	Kochi Univ. Kochi Univ.

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

119P	東南極、リュツォ・ホルム湾における完新世の古環境変遷 Paleoenvironmental changes in the Lutzow-Holm Bay, Antarctica during the Holocene	澤田 秀貴 池原 実 三浦 英樹 岩崎 正吾 澤柿 教伸 菅沼 悠介	Sawada, H. Ikehara, M. Miura, H. Iwasaki, S. Sawagaki, T. Suganuma, Y.	高知大 高知大 極地研 北見工大 北大 極地研	Kochi Univ. Kochi Univ. NIPR Kitami Univ. of Tech. Hokkaido Univ. NIPR
120P	昭和基地周辺の氷河性堆積物中の磁性鉱物の酸化状態について The oxidation of the magnetic minerals within the glacial sediment around the Showa Station.	中井 睦美 石川 尚人	Nakai, M. Ishikawa, N.	大東文化大 京都大	Daito-Bunka Univ. Kyoto Univ.
121P	南極大陸S16周辺の氷床変動(Ⅱ) Ice sheet movement around S16 Antarctica(Ⅱ)	白井 宏樹 高畑 嘉之 雨貝 知美	Shirai, H. Takabatake, Y. Amagai, T.	国土地理院 国土地理院 国土地理院	GSI GSI GSI
122P	GPS連続観測点による露岩域変動測量 Monitoring Local Crustal Deformation by using the GPS Remote Base Station	高畑 嘉之 白井 宏樹	Takabatake, Y. Shirai, H.	国土地理院 国土地理院	GSI GSI
123P	南極昭和基地におけるインフラサウンド計測 Infrasound Observation at Syowa station, Antarctica	石原 吉明 山本 真行 金尾 政紀	Ishihara, Y. Yamamoto, M. Kanao, M.	国立天文台 高知工科大 極地研	NAOJ RISE Kochi Univ. of Tech. NIPR
124P	第49次越冬地圏モニタリング観測について Monitoring of change in geosphere during the JARE49 overwintering	青山 雄一 土井 浩一郎 野木 義史 澁谷 和雄	Aoyama, Y. Doi, K. Nogi, Y. Shibuya, K.	極地研 極地研 極地研 極地研	NIPR NIPR NIPR NIPR
125P	南極GISについて Demonstrations of Antarctic GIS portal site	野木 義史 北本 朝展	Nogi, Y. Kitamoto, A.	極地研 情報研	NIPR NII
(15:45 - 16:00) 休憩 Coffee Break					

IV. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (1)

座長: 小山内 康人・九州大

Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (1)

Osanai, Y., Kyusyu Univ.

- 10 (16:00 - 16:20) 東南極リュツオホルム岩体スカレブークハルセン産ザクロ石・珪線石片麻岩中のフェロシュードブルッカイトの組成を有するイルメナイト・ルチル共生
Ilmenite-rutile association with ferropseudobrookite composition in garnet-sillimanite gneiss from Skallevikshalsen, Lutzow-Holm Complex, East Antarctica.

川崎 智佑	Kawasaki, T.	愛媛大	Ehime Univ.
中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.

- 11 (16:20 - 16:40) 南極、スカレヴィークハルセンのMg-Alに富むグラニュライト中に見出された渦巻き成長石墨
Graphite with growth spirals in Mg-Al-rich granulite from Skallevikshalsen, Antarctica

廣井 美邦	Hiroi, Y.	千葉大	Chiba Univ.
M. サティッシュクマール	Satish-Kumar, M.	静岡大	Shizuoka Univ.
D. ダンクリー	Dunkley, D.	極地研	NIPR
加藤 睦実	Kato, M.	千葉大	Chiba Univ.
足立 達朗	Adachi, T.	総研大	GUAS
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
本吉 洋一	Motoyoshi, Y.	極地研	NIPR
白石 和行	Shiraishi, K.	極地研	NIPR

- 12 (16:40 - 17:00) コンダライトと石灰珪質‘岩脈’の相互作用: チャルノッカイトの形成
Interactions between khondalite and calc-silicate ‘dykes’: charnockite formation after khondalite

加藤 睦実	Kato, M.	千葉大	Chiba Univ.
廣井 美邦	Hiroi, Y.	千葉大	Chiba Univ.
大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR

- 13 (17:00 - 17:20) スリランカ・ハイランド岩体産の超高温泥質変成岩中のMg-十字石の発見とその意味
Discovery of Mg-staurolite in ultrahigh temperature pelitic granulite from Highland Complex, Sri Lanka and its significance

柳 綾彦	Yanagi, A.	千葉大	Chiba Univ.
廣井 美邦	Hiroi, Y.	千葉大	Chiba Univ.

- 14 (17:20 - 17:40) Geochemical Behavior of Selected Trace Elements from Weathered Gneiss Rock at Schimarcher Oasis, East Antarctica

Musta, B	Univ. Malaysia Sabah
Hennie F.W.S. Erfan	Univ. Malaysia Sabah

(18:00 - 19:00) 懇親会 Conference Party

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

V. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (2)

Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (2)

座長： 外田 智千・極地研

本吉 洋一・極地研

Chair: Hokada, T., NIPR

Motoyoshi, Y., NIPR

- 15 (10:00 - 10:20) 東南極セール・ロンダーネの超大陸形成から分裂に至る火成活動史
Magma activities from amalgamation to breakup of Gondwana in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
志村 俊昭	Shimura, T.	新潟大	Niigata Univ.
柚原 雅樹	Yuhara, M.	福岡大	Fukuoka Univ.
東田 和弘	Tsukada, K.	名古屋大	Nagoya Univ.
亀井 淳志	Kamei, A.	島根大	Shimane Univ.

- 16 (10:20 - 10:40) 東南極セール・ロンダーネ山地西部の地質構造概報
Outline of the Geological structure in the western Sør Rondane Mountains, East Antarctica

東田 和弘	Tsukada, K.	名古屋大	Nagoya Univ.
大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
志村 俊昭	Shimura, T.	新潟大	Niigata Univ.
柚原 雅樹	Yuhara, M.	福岡大	Fukuoka Univ.
亀井 淳志	Kamei, A.	島根大	Shimane Univ.

- 17 (10:40 - 11:00) 東南極セール・ロンダーネ山地に分布するトナリ岩質岩石の岩石学的特徴
Petrology of tonalitic rocks in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

亀井 淳志	Kamei, A.	島根大	Shimane Univ.
柚原 雅樹	Yuhara, M.	福岡大	Fukuoka Univ.
大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
志村 俊昭	Shimura, T.	新潟大	Niigata Univ.
東田 和弘	Tsukada, K.	名古屋大	Nagoya Univ.

- 18 (11:00 - 11:20) 東南極セール・ロンダーネ山地で見いだされたビーデー花崗閃緑岩の地球化学的特徴
Geochemical characteristics of the Widerøe Granodiorite found in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

柚原 雅樹	Yuhara, M.	福岡大	Fukuoka Univ.
亀井 淳志	Kamei, A.	島根大	Shimane Univ.
大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
志村 俊昭	Shimura, T.	新潟大	Niigata Univ.
東田 和弘	Tsukada, K.	名古屋大	Nagoya Univ.

- 19 (11:20 - 11:40) 東南極セール・ロンダーネ山地、小指尾根のコランダム-スピネル含有スカルン
Corundum-spinel bearing skarn from the Koyubi-ridge, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

志村 俊昭	Shimura, T.	新潟大	Niigata Univ.
亀井 淳志	Kamei, A.	島根大	Shimane Univ.
東田 和弘	Tsukada, K.	名古屋大	Nagoya Univ.
大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
柚原 雅樹	Yuhara, M.	福岡大	Fukuoka Univ.

- 20 (11:40 - 12:00) セールロンダーネ山地アウストカンパーネに産する泥質片麻岩中の十字石、スピネル、斜方角閃石の産状とそこから制約される変成プロセス

Staurolite, spinel and orthoamphibole in pelitic gneiss, and their implications for the metamorphic processes at Austkampane, Sør Rondane Mountains

外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
足立 達朗	Adachi, T.	総研大	GUAS
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyusyu Univ.
中野 伸彦	Nakano, N.	九州大	Kyusyu Univ.
豊島 剛志	Toyoshima, T.	新潟大	Niigata Univ.
馬場 壮太郎	Baba, S.	琉球大	Univ. of Ryukyus

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

(12:00 - 13:00)

昼食

Lunch

VI. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (3)

Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region (3)

座長：大和田 正明・山口大

馬場 壮一郎・琉球大

Chair : Owada, M., Yamaguchi Univ.
Baba, S., Univ. of Ryukyus

21 (13:00 - 13:20) 大隅石の成因が語るナピア超高温変成作用のテクトニクス

Origin of osumilite and its implication for tectonics of the Napier ultrahigh temperature

石塚 英男

Ishizuka, H.

高知大

NIPR

曾山 祐貴

Soyama, Y.

阿波市阿波中学校 Awa Junior High School

22 (13:20 - 13:40) Chemostratigraphy of marbles from East Gondwana: Constraints on the whereabouts of Mozambique Ocean

M. Satish-Kumar

Shizuoka Univ.

Miyamoto, T

Kyusyu Univ.

Hermann, J.

ANU, Australia

Windley, B.

Leicester Univ. UK

Grantham, G.

Council for Geoscience, S Africa

Dunkley, D.

NIPR

Osana, Y.

Kyusyu Univ.

Motoyoshi, Y.

NIPR

Hiroi, Y.

Chiba Univ.

Shiraishi, K.

NIPR

Wada, H.

Shizuoka Univ.

23 (13:40 - 14:00) 東南極リュツォ・ホルム岩体スカレビークスハルセンに産するザクロ石珪線石片麻岩のCHIME モナズ石年代

CHIME monazite dating of the Grt-Sil gneiss from Lützow-Holm Complex at Skallevikshalsen, East Antarctica

河上 哲生

Kawakami, T.

京都大

Kyoto Univ.

外田 智千

Hokada, T.

極地研

NIPR

24 (14:00 - 14:20) Pre-orogenic ages show a composite crust in the Ediacaran East African-Antarctic Orogen at Lützow-Holm Bay (40°E), east Antarctica

Dunkley, D.

NIPR

Shiraishi, K.

NIPR

Carson, C.J.

Geoscience Australia

Nogi, Y.

NIPR

Motoyoshi, Y.

NIPR

25 (14:20 - 14:40) インド南部の Gondwana 縫合帯に産する A タイプ花崗岩と片麻岩類のジルコン年代測定
Zircon age dating of A-type granites and gneisses from the Gondwana suture, southern India

佐藤 桂

Sato, K.

東京工業大

Tokyo Inst. Tech.

M. サントッシュ

M. Santosh

高知大

Kochi Univ.

角替 敏昭

Tsunogae, T.

筑波大

Univ. of Tsukuba

昆 慶明

Kon, Y.

産総研

AIST

山本 伸次

Yamamoto, S.

東京工業大

Tokyo Inst. Tech.

平田 岳史

Hirata, T.

京都大

Kyoto Univ.

26 (14:40 - 15:00) Pb Loss in zircons of granitoids from the ntem complex: questioning the post-charnockite migmatization.

有馬 眞

Takam, T.

Yokohama National Univ.

Arima, M.

Yokohama National Univ.

Dunkley, D.

NIPR

第29回 極域地学シンポジウム プログラム (2009年度)

(15:00 - 15:20)

休憩

Coffee Break

VII. 極域から見た超大陸の形成と分裂のダイナミクス (4)

Evolution and breakup of super-continent viewed from polar region(4)

座長：澁谷 和雄・極地研

Chair : Shibuya, K., NIPR

- 27 (15:20 - 15:40) 国際極年における東南極大陸での広帯域地震計アレイ観測による地球深部研究 - AGAP/GAMSEIS -
Broadband seismic deployments in East Antarctica: IPY contribution to understand Earth's deep interior - AGAP/GAMSEIS -
- | | | | |
|-------|------------|----------|------------------|
| 金尾 政紀 | Kanao, M. | 極地研 | NIPR |
| 田中 聡 | Tanaka, S. | 海洋研究開発機構 | JAMSTEC |
| 坪井 誠司 | Tsuboi, S. | 海洋研究開発機構 | JAMSTEC |
| | Wiens, D. | ワシントン大 | Washington Univ. |

- 28 (15:40 - 16:00) 地震波から見た極域のマントル構造とダイナミクス
Mantle structure and dynamics of the polar regions

山本 芳裕	Yamamoto, Y.	東北大	Tohoku Univ.
趙 大鵬	Zhao, D.	東北大	Tohoku Univ.

VIII. 測地・固体地球物理(2)

Geodesy and geophysics(2)

座長：福田 洋一・京都大

Chair : Fukuda, Y., Kyoto Univ.

- 29 (16:00 - 16:20) 新超伝導重力計(SG-058)の設置計画
Planning of New Superconducting Gravimeter Syowa Station at Antarctica
- | | | | |
|--------|-------------|-----|------------------|
| 池田 博 | Ikedo, H. | 筑波大 | Univ. of Tsukuba |
| 青山 雄一 | Aoyama, Y. | 極地研 | NIPR |
| 土井 浩一郎 | Doi, K. | 極地研 | NIPR |
| 澁谷 和雄 | Shibuya, K. | 極地研 | NIPR |

- 30 (16:20 - 16:40) GRACEと海底圧力計によるLützow-Holm湾近傍南極沿岸流の変動観測
Variation of the Antarctic Coastal Current in the vicinity of Lützow-Holm Bay, East Antarctica derived by GRACE and in-situ bottom pressure measurements
- | | | | |
|--------|--------------|-----|------|
| 早河 秀章 | Hayakawa, H. | 極地研 | NIPR |
| 澁谷 和雄 | Shibuya, K. | 極地研 | NIPR |
| 土井 浩一郎 | Doi, K. | 極地研 | NIPR |
| 青山 雄一 | Aoyama, Y. | 極地研 | NIPR |
| 野木 義史 | Nogi, Y. | 極地研 | NIPR |

- 31 (16:40 - 17:00) 南極大陸周縁域の大陸棚深度に関する考察
Implication of the depth of continental shelf around Antarctica.

奥野 淳一	Okuno, J.	極地研	NIPR
三浦 英樹	Miura, H.	極地研	NIPR
野木 義史	Nogi, Y.	極地研	NIPR

- 32 (17:00 - 17:20) 南東アラスカにおけるGIAの再評価について
Reevaluation of the GIA in Southeast Alaska

佐藤 忠弘	Sato, T.	東北大	Tohoku Univ.
三浦 哲	Miura, S.	東北大	Tohoku Univ.

第29回極域地学シンポジウム

口頭発表要旨

The 29th Symposium on Polar Geosciences

Abstracts for Oral Presentation

南極海リュツオホルム湾沖における過去 65 万年間の古海洋変動

池原実¹, 岡本周子¹, Boo-Keun Khim², 菅沼悠介³, 香月興太¹, 板木拓也⁴, 三浦英樹³ (¹高知大学, ²釜山大学, ³国立極地研究所, ⁴産業技術総合研究所)

Paleoceanographic variations off Lützow-Holm Bay in the Antarctic Ocean during the past 650 kys

Minoru Ikehara¹, Shuko Okamoto¹, Boo-Keun Khim², Yusuke Suganuma³, Kota Katsuki¹, Takuya Itaki⁴, Hideki Miura³ (¹Kochi Univ., ²Pusan National Univ., ³National Institute of Polar Research, ⁴Geological Survey of Japan)

1. はじめに

南極大陸上の巨大氷床とその周辺に広がる南大洋は、気候システム内において地球を冷やす働きをしており、南極寒冷圏 (Antarctic Cryosphere) とも呼ばれている。南極寒冷圏を構成するサブシステムとしては、南極氷床の他、南大洋に広がる海水や低温の表層水、南極極前線などの海洋構造、そして表層海流系としての南極環流などがある。これらのサブシステムは相互に連動しながら新世代を通じた地球の寒冷化に大きく寄与してきている。これら南極寒冷圏のサブシステムの変動を明らかにすることは、第四紀の地球環境変動の実態、および、それらの気候システム内での役割を理解する上で重要な視点となる。そこで、第四紀後期における東南極氷床の消長とそれに伴う氷縁域での生物生産量および表層環境の時空間変動を復元するため、南極海リュツオ・ホルム湾沖をターゲットとして、新たに海底コアを採取して古海洋学的研究を行った。

2. コア試料と分析方法

本研究に用いたコア試料は、リュツオ・ホルム湾沖の南極海において KH07-4 Leg3 航海にて採取したピストンコア LHB-3PC (66°00'S, 40°00'E, 4469m) である。コアの年代モデルは、相対古地磁気強度、珪藻および放射虫による微化石の基準面を参考に、磁性鉱物粒径変動を酸素同位体比曲線に対比することで構築され、コア最下部の年代は約 65 万年前に相当することがわかっている (Suganuma et al., in prep.). X 線 CT スキャナおよびマルチセンサーコアロガーを用いたコアの非破壊計測を行うとともに、堆積物中の生物起源物質の量的変動を復元するために生物源オパール量、有機炭素量を定量するとともに、バルク有機物の炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) および窒素同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) を元素分析計連続フロー型質量分析計 (EA-IRMS) を用いて分析した。

3. 結果と考察

(1) 氷期に発生する深海底タービダイト

LHB-3PC の岩相および帯磁率は周期的に変化する。年代モデルに基づく、間氷期には相対的に低密度かつ細粒な堆積物が埋積するが、氷期には相対的に高密度かつ粗粒な堆積物が堆積している。また、明らかな上方細粒化を示し、かつ、下位の堆積層との境界

がシャープな粗粒ユニットが少なくとも 7 層確認された。これらの粗粒堆積物は、深海タービダイトによる異地性堆積物であると推測される。つまり、氷期には南極大陸もしくは陸棚に一旦堆積した堆積物が重力流によって深海底に運搬されて堆積していたことを物語っている。現時点では、タービダイトを発生させた直接的な原因は不明であるが、氷期に南極氷床が拡大することに伴う陸棚-陸棚斜面の堆積プロセスの変化が要因として考えられる。

(2) 氷期-間氷期スケールの生物生産量変動

LHB-3PC のタービダイト層を除く通常期の堆積物における TOC は 0.1%~0.4% の範囲で変動し、氷期に減少し、間氷期に増加している。これらの TOC 変動は、同コアのオパール量変動とはほぼ整合的な結果であった。従って、南極表層水域では間氷期に生物生産量が増加し、氷期には低下していたと推測される。また、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は 26‰~22‰ の範囲で変動しており、間氷期で重く氷期で軽くなる傾向を示す。東南極 Breid 湾のセディメントトラップ実験によると、夏季ブルーム初期の沈降粒子の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は約 23‰ であり、早い成長速度を反映して相対的に重い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ を示すが、ブルーム後期では 26‰ と軽い値にシフトすることが報告されている (Handa et al., 1992)。従って、LHB-3PC コアの氷期の層準における低い TOC%, 低いオパール%, 軽い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は、何らかの要因によって南極海表層での生物生産量が抑制されていたことを示唆している可能性が高い。また、Gibson et al. (1999) は、アイスアルジー由来の有機物の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ がおよそ 20‰ よりも重い値をとることを示したが、LHB-3PC ではそのような重い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は得られていない。このことは珪藻群集解析の結果からも支持され、LHB-3PC からは海水指標種はほとんど産出しない。従って、コア採取地点付近の表層環境は氷期でも多年氷に覆われることなく季節海水域であったと推測される。

地磁気変動に基づく海底堆積物とアイスコアの高精度年代対比

B-M 境界の新年代

菅沼悠介 (極地研), 横山祐典 (東大・海洋研), 川村賢二 (極地研), 山崎俊嗣 (産総研)
 Synchronization between marine sediments and ice core based on Be-10 flux records
 : implication for the age of the Brunhes-Matuyama boundary
 Yusuke Suganuma (NIPR), Yusuke Yokoyama (ORI, Tokyo Univ.), Kenji Kawamura (NIPR),
 Toshitsugu Yamazaki (GSJ, AIST);

地球の気候変動メカニズムを理解するには、遠く離れた地点間における古気候変動のタイミングを比較し、その前後関係を知ることが重要である。そのために近年、宇宙線生成核種の生成率変動パターンを用いた氷床コア間の年代スケールの対比が進められている。宇宙線生成核種は主に大気中で銀河宇宙線の入射によって生成される。例えば ^{10}Be 場合は、数年程度の滞留時間を経て陸上にもたらされ、氷床・堆積物などに記録される。また、宇宙線生成核種の生成率は数百年以上の長い時間スケールでは主に地磁気強度変動の影響を受けて変化している。以上の特性を利用して、例えば Raisbeck et al. (2007) は、南極およびグリーンランドの氷床コアから ^{10}Be フラックス変動を求めることで両極の氷床コア年代を精密に対比し、約 4 万年前の気候イベントの前後関係を明らかにした。

一方、海底堆積物の年代層序の構築において、堆積物から得られる過去の地磁気強度データを用いる手法が注目されつつある (Suganuma et al., 2009 など)。これは、対象となる堆積物から相対的な古地磁気強度変動曲線を構築し、標準となる過去の地磁気強度の変動カーブ (NAPIS-75; Laj et al., 2000 など) に対比することで年代を決定するものである。ここで重要となるのが、上記の氷床コアに記録される宇宙線生成核種の生成率と海底堆積物から求めた相対的な古地磁気強度は共に過去の地磁気強度を示す指標であり、両指標の変動パターンのマッチングが可能だということである。この手法は氷床コアと海底堆積物など異なった古気候アーカイブ間の直接的な対比を可能とすることから、近年非常に注目を集めている (Stoner et al., 2000)。

しかし、この地磁気変動を用いたマルチアーカイブ対比には大きな問題が残されている。それは、海底堆積物において、堆積残留磁化が固定される深さ (Lock-in depth) が明らかになっていないという問題である。これは、“Lock-in depth”問題として長年議論されてきた重要な問題であり、氷床コアと堆積物を高精度で対比する際にも不可欠な補正要素となる。

なぜなら、 ^{10}Be と氷との間にほぼ時間差が無い氷床コア記録と、海底堆積物の古地磁気記録には、Lock-in depth に相当する年代分のずれが生じるからである。

この問題を解決すべく、本研究では太平洋から 3 本の海底コア (MD972143, MD982187, および P340 コア) を用いて、Brunhes-Matuyama 地磁気逆転境界を対象とした超高解像度の ^{10}Be フラックス変動の復元を行った。そして、海底堆積物に記録される宇宙線生成核種の生成率と古地磁気強度の変動記録の深度差 (時間差) を評価するため、各コアの古地磁気記録 (方向・強度) (Hornig et al., 2002; 2003; Yamazaki and Oda, 2005; Yamazaki, 1992) との対比を行った。 ^{10}Be 濃度の測定には、東京大学所有のタンデム型加速器質量分析計を用いた。

その結果、すべてのコアにおいて、 ^{10}Be フラックスと古地磁気強度の変動パターンの間には、約 15 cm の明瞭な深度差があることが明らかになった。つまり、これらの海底堆積物において約 15 cm の Lock-in depth が存在することが示された。この結果は、 ^{10}Be フラックスおよび古地磁気強度の変動を用いて直接的に Lock-in depth を決定した初めての例である。もし、この約 15 cm の Lock-in depth が普遍的な現象だとすると、例えば堆積速度 1 cm/kyr の海底堆積物コアの古地磁気強度記録と氷床コアの ^{10}Be フラックス記録を対比した場合には、約 15000 年の補正が必要になる。実際、MD972143 コアにおける酸素同位体比曲線のオービタルチューニング年代モデルに基づく (Hornig et al., 2002)、 ^{10}Be フラックスのピークから想定される真の B-M 境界の年代値が約 77.0 万年前となること、そして酸素同位体比曲線上における B-M 境界の位置が MIS19 の再温暖期ではなく MIS18 に近い MIS19 の後期であることが示唆される。この新しい B-M 境界の年代値と酸素同位体比曲線上の位置は、Dreyfus et al. (2008) に報告される EPICA Dome-C コアにおける同境界の年代および層準と非常に整合的である。

南極ウィルクスランド沖海底堆積物の複数コアでの地磁気・気候変動の研究

宮川尚士 酒井英男 横山美穂 (富山大学),

松岡東香 (筑波学院大学), 船木實 (極地研究所)

Study of geomagnetic and climatic variation on several cores of marine sediments

from Wilkes Land offshore at Antarctic

Takashi Miyagawa, Hideo Sakai, Miho Yokoyama, Haruka Matsuoka, Minoru Funaki

1. はじめに

南極海ウィルクスランド沖で掘削された海底コア GC1501 (石油開発公団・白嶺丸航海) について, 地磁気と古環境の復元を目的として磁気研究を行った。その結果と GC1504 の研究 (Sakai et al., 1993, 酒井他, 2008) および微化石研究との比較研究も行った。

2. 試料と実験

コア GC1501 (コア長 540cm) と GC1504 (523cm) は, それぞれ 63.7° S, 112.3° E, 水深 3060m と 63.3° S, 116.0° E, 水深 3310m の地点で掘削されている (図 1)。Sakai (1998) の古地磁気測定の結果, GC1501 コアは, Jaramillo 終了期 (99 万年前) と B/M 境界 (78 万年前) を含む過去約 100 万年間の地磁気を記録しており, また GC1504 コアにはこれに加え, Jaramillo 開始期 (107 万年前) の記録も含まれていると判明した。

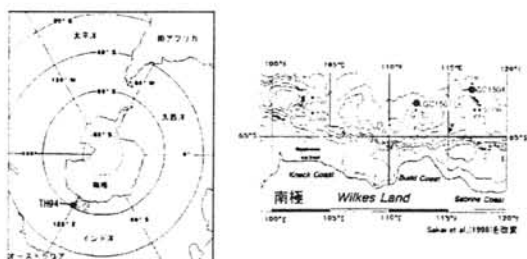


図 1 南極海ウィルクスランド沖でのコア掘削地点。

本研究では, GC1501 コアから, 1 辺約 2.2cm の 7cc プラスチックケースを用いて連続的に試料を採取した。そして, 交流消磁実験により堆積時の残留磁化を抽出し, その方向変化を地磁気極性逆転表と対比した。また, 堆積環境を明らかにするために熱消磁, 磁気物性等の実験を行った。

3. 結果と考察

交流消磁実験では, 各試料の磁化は安定であった。磁化方向の深さ変動から, 470cm 付近より下部で偏角・伏角の逆転 (B/M 境界) が確認でき, Sakai et al. (1998) とよく合った (図 2)。

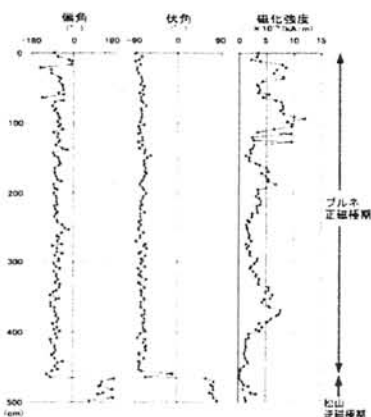


図 2 GC1501 の残留磁化方向の深さ変動

熱消磁実験では, コアを通して 2 種類の磁性鉱物が示され, キューリー点 580°C のマグネタイトが一次鉱物であり, 低温のキューリー点 (300~350°C) の二次鉱物へ変化していると推測された。そして残留磁化の起源として, 高温部 (高いブロック温度の成分) では堆積残留磁化 (DRM), 低温部では化学残留磁化 (CRM) と考えられた。

帯磁率異方性などの測定では, GC1501 の深度 300~400cm で, 試料中の磁性鉱物の量や堆積環境の変化を示す磁気物性が周囲より揃う特徴があった。この結果は, 300~400cm の堆積当時, 磁性鉱物の供給や堆積環境が変化したこととの関連を考慮して, 測定結果を同コアの微化石の分析結果と比較した。

微化石の分析では, 有孔虫化石と IRD (漂流岩屑: Ice rafted debris), 放散虫化石の産出数をカウントし, 古環境の復元と海洋酸素同位体ステージ (MIS) の認定を行った。有孔虫化石と IRD は, 気候が寒冷

になると産出量が増加するため、寒冷期を示す指標としている。これによると、深度 300~390cm において、寒冷期を含むにも関わらず、有孔虫と IRD の産出量が、気候変動の判断が不可能なほど著しく減少していた。IRD は氷床によって南極大陸の岩石が削られて、IRD の付着した氷床が海上で溶けて堆積したものである。このことから、研究結果は産出量が減少したとき、コアの掘削地点の海面が氷床で覆われて IRD が堆積しなかったことを示していると考えられる。

この推測は、磁気物性の結果とも整合的であり、帯磁率の大きさの変化をみると、この深度で高いまとまりを示した。一つの解釈として、この深度(堆積期間)では、IRD が堆積せず、主に走磁性バクテリアなどを起源とする磁性鉱物が堆積した可能性がある。更に、帯磁率異方性には明瞭な層状がみられ、海面を水で覆

われて、海底の堆積環境は、比較的静かであったと推測される。

しかし、掘削地点がより沖合の GC1504 の磁気物性には、上述の様な明確な変化は見られなかった。以上の 2 地点での研究結果は、堆積物コアの磁気物性の調査により、南極大陸の氷床が張り出していた期間と範囲を特定できることを示している。

今後は、より沿岸の地点や異なる地域での調査も加えて、南極域の古環境およびグローバルな気候変動の検討を更に進めることが望まれる。

4. 引用文献

- ・ H.Sakai et al. (1998) : Polar Geoscience, No.11
- ・ 酒井英男, 谷川喜彦, 船木實, 松岡東香 (2008) : 第 28 回極域地学シンポジウム

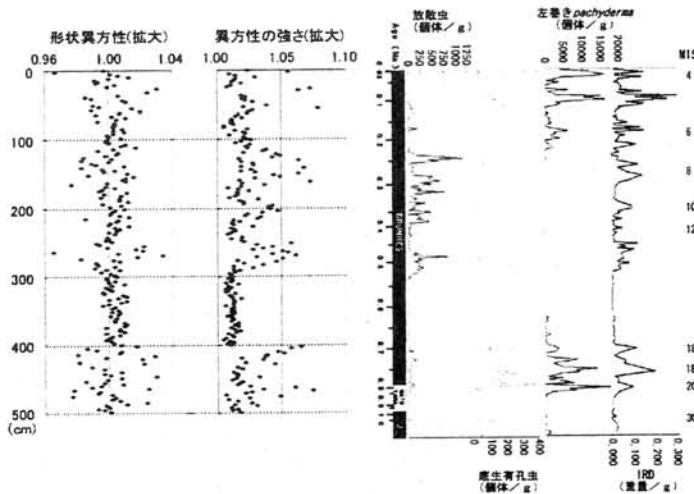


図 3 帯磁率の異方性のパラメータと、IRD、微化石の変化の比較

きざはし浜における完新世中期の海水準変動より推定される 急激な東南極氷床の融解

奥野 淳一・三浦 英樹 (国立極地研究所)

Mid-Holocene rapid melting of East Antarctic Ice Sheet inferred from relative sea-level change at Kiazhasi beach

Jun'ichi Okuno, Hideki Miura (NIPR)

南極大陸縁辺域での最終氷期からの相対的海水準変動は、氷床が融解したことによるglacial reboundに大きく依存するため、氷河地形地質学的証拠とともに南極氷床の融解史を推定する上で重要な意味を持つ。これまで南極大陸沿岸域において明らかにされた相対的海水準変動は、海棲化石の産出高度と年代との関係を用いて復元されることが多かったが、旧汀線高度を厳密に指示する資料がなかったために、決して精度が高いとは言えなかった。本研究では、第37次南極地域観測隊 (JARE-37) で行われたリュツォ・ホルム湾きざはし浜地域における隆起海浜地形および掘削調査より、原地性の貝化石の産出高度を正確に決定し、それらの放射性炭素年代値に暦年補正、リザーバー効果補正を施し、より精度の高い完新世相対的海水準変動史を明らかにした。その調査観測より得られた海水準変動は、約5000 - 3000年前の間に急激な海水準低下を示す。その原因の可能性として、この急激な海面低下が生じた時期、またはその直前に氷床の融解(後退)が生じたことが示唆される。本研究では、さらにGlacial Isostatic Adjustment (GIA) モデルを用い、きざはし浜における完新世海水準変動を数値的に再現し、完新世における東南極氷床の融解について、定量的に評価することを目的としている。

従来、最終氷期最盛期の氷床地域から離れた地域の海水準変動の解析により、約6000年前からグローバルな海面上昇として、2 - 3 m 程度の氷床融解が示唆され、それは南極氷床の寄与であると提案されている (Nakada & Lambeck, 1989, Okuno & Nakada, 1998など)。本研究のモデル計算の結果によると、約5000年前以降の約1500年間に120 - 200 m の厚さの氷床融解を仮定しなければ、きざはし浜地域の急激な海面低下イベントは再現できないことが明らかになった。これは、グローバルな海面上昇に換算すると、約0.1 - 1 m 程度に相当し、これまで提案され

ている完新世の氷床融解量の約 5 ~ 50 % に相当する (Fig.1)。さらに、観測値の約4000年前の海面停滞期を説明するためには、一時的な氷床の成長が必要であることが明らかになった。これらの結果は、リーセル・ラルセン山地に散在する放棄されたペンギンルッカリーの拡大時期や、スカーレン・まごけ岬における地形学的な証拠から推定される氷床末端の変動史とも調和的なモデルである。以上の結果から、完新世中期の約4500~3500年前頃を中心とした時期には、少なくとも本研究対象地域である東南極の一部で氷床の後退・縮小および小規模の成長が生じたとともに、ペンギンの個体数の増加をもたらすような海洋環境の変化 (海水環境の変化やオキアミなどの生物生産量の変化) も生じた可能性がある。これらは、東南極各地から報告されている完新世中期の温暖期 (mid-Holocene optimum) と対応する現象と考えられる。

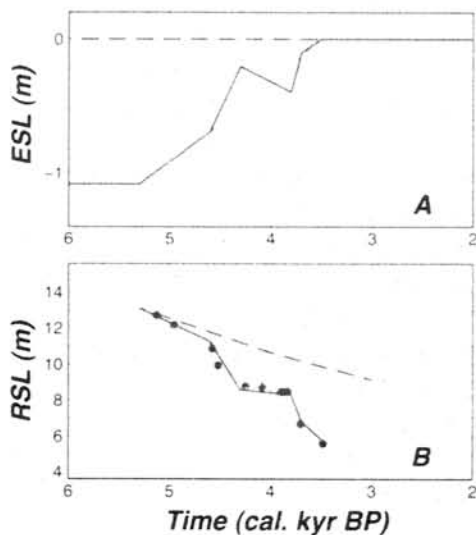


Fig.1 東南極の氷床融解史モデルによるユースタティック海面変化曲線 (A) ときざはし浜地域の地形学的調査より明らかにされた海面変化の観測値 (●) と理論的相対的湖面変化曲線 (B)

GRACE、ICESat衛星から観測された経年変化トレンドと GIAモデルとの比較およびその解釈について

山本圭香（総合地球環境学研究所），福田洋一（京都大学大学院理学研究科），

土井浩一郎（国立極地研究所）

Comparison of GRACE mass trend and ICESat elevation trend with GIA models

Keiko Yamamoto (RIHN), Yoichi Fukuda (Kyoto University), Koichiro Doi (NIPR)

1.はじめに

重力測定衛星 GRACE から得られる地球表面および内部の質量の時間変動についての情報は、陸水、海洋、氷床などのさまざまな研究に利用されている。南極氷床の研究において、GRACE のデータを使用することの利点は、他の手法では観測が難しい比較的大規模なスケールの氷床の変動量を、質量の変化として直接知ることができる点である。しかしながら、GRACE が観測するのは質量変化の鉛直積分値であり、南極においては、Glacial Isostatic Adjustment (GIA)による質量の経年変化トレンドの影響も無視できない量であるため、正確な氷床変動の見積もりには、モデル、あるいは他の観測データを利用して GIA のトレンドを差し引かねばならない。

ICESat 衛星高度計データから得られる氷床の高度変化の情報を GRACE から得られる質量変化の情報と組み合わせ、氷床と GIA のトレンドを分離するというアイデアは、GRACE、ICESat 両衛星の打ち上げ前の段階からすでに提案されていたが、ICESat システムの不具合により、利用できる ICESat データの期間が限られており、当初期待されていたような精度で結果を得ることは難しい。しかし、両者のデータを比べることは、GIA のトレンドや氷床変動の見積もりにより一定の拘束条件を与えるはずであり、これは既存の知識、モデルの改良に役立つであろうと期待される。このような考えのもと、われわれは過去に GRACE、ICESat の経年変化トレンドを比較したが、利用可能なデータが短いなどの理由により、詳細な議論が難しかった。

その後、GRACE、ICESat とも、利用可能なデータ期間が延び、比較的大規模のトレンドを見積

もることが可能になってきた。また、最近、いくつかのグループから、誤差が軽減され、空間分解能が改善された GRACE データがリリースされ、以前よりもより詳細な議論が可能であると予想される。そこで本研究では、新しい GRACE、ICESat データを用い、GIA および氷床変動の見積もりについての再評価を行うことを目的とした。

2.データ処理

GRACE データとしては、2009 年 4 月にリリースされた CNS/GRGS version 2 の 10 日ごとの球面調和関数解（データ期間：2002–2008 年）を用いた。誤差は、球面調和関数の見積もり時にすでに考慮されており、ユーザー側でスムージング、フィルタリングの作業は不要である。ICESat データの各キャンペーン期間と対応するそのような重力値を求めるため、同じ期間に含まれる 10 日解の重み月平均をおこなった後、年周成分および経年成分のフィッティングをおこない、質量変動の経年成分を求めた。

ICESat データは、現段階でもっとも長期のデータが利用可能な Release 28（データ期間：2003–2008 年）のものを用いた。高さ変化は、同じ Path かつ最近傍点のデータ同士の差をとることによって求めた。GRACE データとの整合性のため、いったん球面調和関数展開したのち、50 次までのグリッドデータに直し、同様に年周成分、経年成分のフィッティングをおこなって、経年成分を求めた。

3.結果と考察

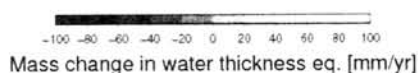
図 1(a)、(b)はそれぞれ、GRACE から見積もられた質量変化のトレンド、ICESat から見積もら

れた高度変化のトレンドである。

はじめに、既存の GIA モデル (ICE-5G、ANT05、ANT06 および IJ05) を用い、その質量変動値を GRACE データから差し引くことにより得られる氷床変動の見積もりを ICESat から得られた氷床変動値と比べることにより、どの GIA モデルの値が妥当であるかについて調べた。その結果、ICE-5G を用いた場合については、ICESat から得られる氷床変動と大きく矛盾する結果となり、このモデルは適切でないと判断された。しかし、他の 3 つのモデルについては、空間パターンに関して、IJ05 がわずかに他よりもより良い一致を示したものの、実際にはどれを用いた場合でも、氷床の密度の不確実性の範囲内で説明可能であり、最適なモデルの特定はできなかった。

次に、得られた氷床変動の空間パターン、各地域の氷床変動について、いくつかの氷床密度を仮定することによって GRACE データと ICESat データの比較をおこなった。空間パターンに関しては、両者は大局的にはよく似ているが、南極半島からその付け根あたりに分布している正のトレンドは、そのピークの位置が GRACE と ICESat で異なる。また、Pine Island Glacier における大きな負のトレンドは、ICESat と比べ、GRACE のほうがより広範な地域に分布している。また、内陸部及び東南極のトレンドの比較的小さな場所では、値が大きく異なる。発表では、これらの差を矛盾なく説明できるようなメカニズムを検討し、ディスカッションをおこなう。

(a)



(b)

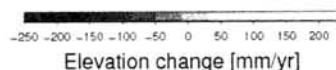


図 1 (a) GRACE データから見積もられた質量変化のトレンド、(b) ICESat から見積もられた表面高度変化のトレンド。

DETECTION CAPABILITY OF TELESEISMIC EVENTS RECORDED AT SYOWA STATION, ANTARCTICA -1987~2007-

Masaki Kanao¹

¹National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems

Phase readings of travel times for teleseismic events recorded at Syowa Station (69.0°S, 39.6°E), Antarctica, have been carried out since 1967 until the present. By using analog and digital records from short- and long-period seismometers, the first phase reading procedure had been continuously conducted by a wintering member for geophysics of the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE). After finishing the observation period for a wintering party, the events identified as teleseismic earthquakes were re-scaled in the National Institute of Polar Research (NIPR) by referring epicenters that were reported on the Quick Earthquake Determination (QED) offered by National Earthquake Information Center (NEIC), USGS.

In recent few years, moreover, Internet access to station facilities has significantly advanced since 2005 via the INTELSAT telecommunication system. Then, after that, the phase readings are conducting only by the special staff of the Polar Data Center (PDC) of NIPR. The arrival times on seismic phases have been reported to the International Seismological Center (ISC) and published as the "JARE Data Reports (Seismology)" from NIPR in every year (e.g., Kanao, 1994; Nogi et al., 1997; Kanao, 1999, Doi and Kanao, 2006, Iwano and Kanao, 2009).

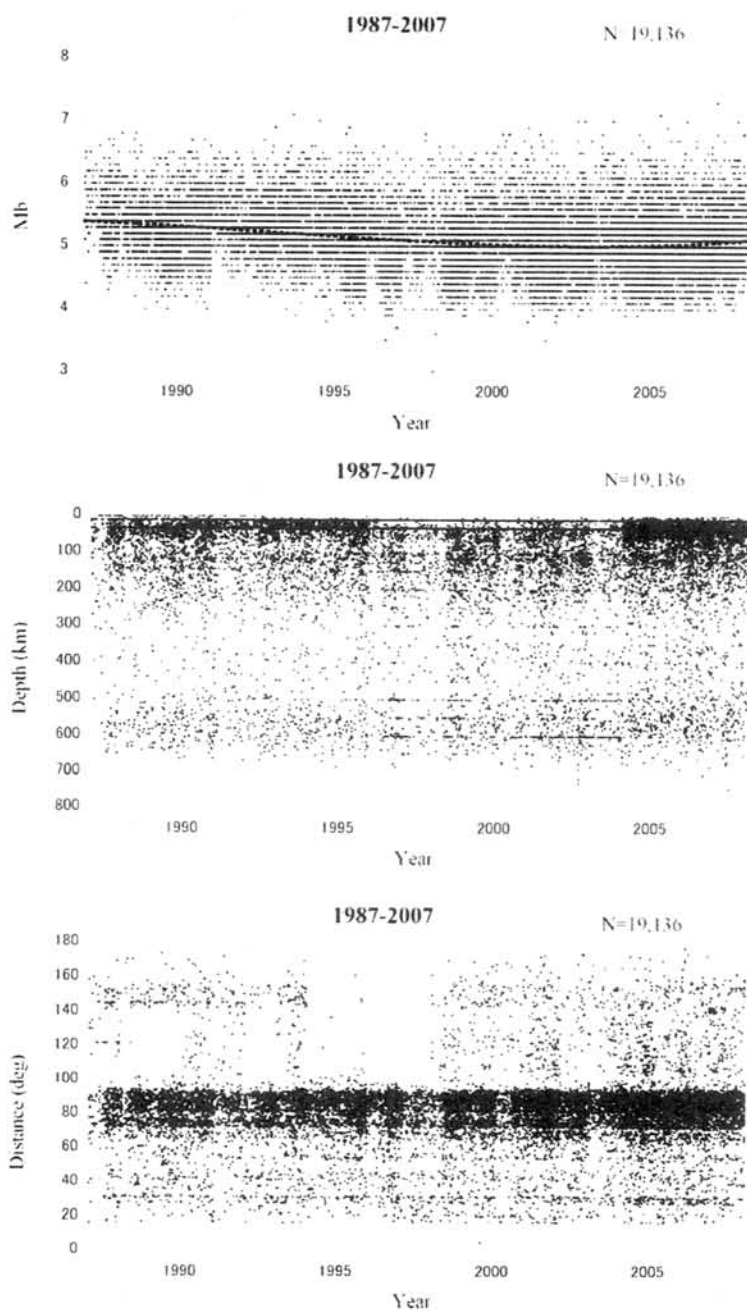
In this study, the teleseismic earthquakes reported by "JARE Data Reports" for the twenty one years of observation period in 1987 - 2007 are analyzed to determine the spatial and time variations for detection capability at Syowa Station. Earthquake detectability for the period in 1987 - 1993 was previously discussed by Kanao and Kaminuma (1995). Therefore, we will focus on the changes in detection capability in longer term observation; which are associated with the variations of the other environmental parameters such as

meteorological, sea-ice, and other geophysical data in terms of global warming.

Time variations of body-wave magnitude (Mb) for the detected teleseismic events for the period 1987-2007 are investigated in detail. The maximum and the minimum detectable magnitude ranges are from 6.5 to 7.0, and 4.0 to 4.5, respectively. The austral summer season, at a glance, has relatively lower detection threshold detectability than the winter season during all 21 years, because of high noise level in the summer season due to both oceanic effects and human activity around the Antarctic station. Time variations of longer than one year could be slightly identified; which assumed to be depending on the variations in temperature, spreading area of sea-ice, strength in zonal wind, and so on.

Detection capability of teleseismic events has evaluated by ISC from global seismic networks (Ringdal, 1986). The magnitude threshold of earthquake detection gradually increases with increasing southern latitude. The bias problem of network magnitude determination is significant at small and middle magnitudes, particularly in the southern high latitude. The 90 per cent detectability threshold of incremental body-wave magnitude ranges from 4.2 to 4.8 in the southern hemisphere. Although there are some broadband stations distributed in the southern hemisphere by Federation Digital Seismological Network (FDSN), detection capability of earthquakes in the southern hemisphere should be improved by increasing the number of stations, particularly in Antarctic continent and the surrounding oceans.

In presentation, several characteristics of detected epicenters, such as spatial distributions, time variations, magnitudes dependency are to be presented in comparison with the reports from ISC.



Time variations in body-wave magnitude (M_b)(upper), focal depth (middle) and epicentral distance (lower) for teleseismic events detected at Syowa Station, in period on 1987-2007. Broken line in the upper figure indicates the 9th polynomial approximated formula as the average in M_b values for all the period.

統計手法による南極大陸周辺での地震活動解析

姫野 哲人 (新領域融合研究センター)

金尾 政紀 (国立極地研究所)

尾形 良彦 (統計数理研究所)

Analysis of the seismicity around the Antarctic plate by the statistical method

Tetsuto Himeno (Transdisciplinary Research Integration Center),

Masaki Kanao (National Institute of Polar Research),

Yoshihiko Ogata (The Institute of Statistical Mathematics)

本研究の目的は、地震の活動度の時間的変化を統計的にとらえる手法を開発し、それを南極大陸周辺での地震活動に適用することである。本発表では1998年3月25日に発生したマグニチュード8.2のバレー地震とその周辺のデータを解析に用いる。

このバレー地震は地震発生以前の周辺の地震分布と発生後の地震分布が変化していると考えられる地震の一つであり、下図にバレー地震発生前後での地震分布を示している。左図がバレー地震発生前で、右図はバレー地震発生から1年半後以降(バレー地震発生直後は余震の影響が大きいために除いてある)の分布であり、ともにマグニチュード4以上、震源が100km以下のものを示している。

このバレー地震による変化はさまざまな手法で検証しても変化をとらえることができる。その手法の一つがEpidemic Type Aftershock Sequence (ETAS) modelである(Ogata (1988))。この手法は強度関数と呼ばれる単位時間あたりの地震の発生頻度をその地域での定常的な発生頻度(background seismicity)と余震による地震の発生頻度の二つの組み合わせによってあらわすモデルである。

余震の発生頻度に関しては、余震活動の経験法則から、ある地震の発生後、ある時間 t が経過後の余震の発生頻度は逆べきに従って減衰するという改良大森公式と呼ばれるものがあり、これに加えて、マグニチュードの大きさに対し余震の発生数は指数的に増大するという二つの考えを取り入れることにより、時刻 t における地震の発生頻度(強度関数)は

$$\mu + \sum_{t_j < t} e^{\alpha(M_j - M_c)} \frac{K}{(t - t_j + c)^p}$$

としてあらわされる。ここで、 (t_j, M_j) は過去の地震発生時刻とそのマグニチュードを表わしていて、 M_c は扱う地震の下限(本発表では $M_c = 4$)であり、 μ, α, K, c, p はパラメータである。

ここでbackground seismicityを表わす第1項のパラメータ μ に関し、長期的な分析を行うときや、プレートに何らかの変化があったと考えられるような時に、時間に依存しない定数として扱うことは好ましくないと考えられる。このパラメータを時間依存するような形のモデルをいくつか導出し、比較検討を行う。



1980/1/1 から 1998/3/24 の地震データ



1999/9/1 から 2006/6/30 の地震データ

モーメントテンソル震源による全地球地震波動場の計算および極域地震波形データとの比較

豊国源知(極地研)・竹中博士(九大理)・金尾政紀(極地研)

Global seismic waveform modeling with moment-tensor sources for comparison with waveform data obtained on Antarctica

Genti Toyokuni (NIPR), Hiroshi Takenaka (Kyushu Univ.), and Masaki Kanao (NIPR)

1. はじめに

南極大陸は「地球深部をのぞく窓」と言われる。この理由は次の3つに集約される。すなわち、(1)南極大陸は地球上でもっとも地震学的に静穏な場所であり、地球深部をサンプリングして到来する弱い遠地地震波でもクリアに観測できること、(2)南極大陸は面積が大きく、地球深部構造の解析に必要な長い測線を確保できること、(3)南極大陸は地球の自転軸付近に位置するため、これまで観測事例の少ない、地震波の南北方向(自転軸方向)のパスを使ったオリジナルな解析ができること、による。これまで南極大陸内陸部に地震観測点が少ないことで、これらのメリットは活かされていなかったが、国際極年(IPY 2007-2009)に伴う一連のプロジェクトにより、現在は内陸部にも多数の観測点が展開されている。筆者らは、これらの観測点で得られた地震波形データを用いて、地球深部構造を解析することを目標としている。

2. 精度と効率の良い地震波形計算

地球深部構造を高解像度で調べるには、地震波記録の持つすべての情報(走時・振幅・波形)を最大限に活用する、波形インバージョンが最適である。波形インバージョンは、理論波形と観測波形とが一致するように、構造モデルを変えながら実際の構造を推定していく手法であり、変更したモデルについて繰り返し理論波形を計算しなければならない。このため、ツールである理論波形計算手

法には、精度が良いことに加え、少ない計算時間・メモリで計算できる効率の良さが必要となる。現実的な地球モデルを用いた理論波形の計算は、差分法のような数値解法に頼らざるを得ないが、現在3次元構造を対象に3次元波動を計算(=3次元モデリング)するには、膨大な計算資源が必要となる。また2次元構造を対象とした2次元波動の計算(=2次元モデリング)は、計算資源は少なく済むが、3次元の波を正しく考慮できない。これに対して、2次元構造を対象とした3次元波動の計算(=2.5次元モデリング)は、構造を1方向に不変と仮定してその断面についてのみ波動場を計算するので効率的で、3次元の波動伝播も正しく扱える。

このため従来、全地球を対象とした理論波形の計算では、精度と効率のよい手法として、球座標系での2.5次元モデリングである「軸対称モデリング」が用いられてきた(例えば *Igel & Weber, 1995*)。軸対称モデリングは、震源を置いた軸の周りに軸対称な構造を仮定して、球座標系での地震波の支配方程式を解き、構造モデルの2次元断面中を伝播する地震波を計算する手法である。精度と計算効率の良さを兼ね備えているものの、従来の軸対称モデリングでは、その軸対称性のため、軸をはさんで非対称な構造が扱えないという重大な問題が存在した。またこれまでの差分法を用いた軸対称モデリングに関する先行研究では、断層型震源のような非対称な震源も取り扱われていなかった。

3. 現実的な波動場計算へのステップ

3-1. 非対称構造の導入

筆者らは、軸対称モデリングのメリットを保持しつつ、従来の問題点を解決し、より現実的な地震波伝播を計算できる波形計算手法の開発を行ってきた。まず通常の球座標領域の代わりに、座標のとり方を変えた「準球座標領域」を導入することで、軸対称モデリングの枠組みで非対称構造も扱える手法、「準球座標系差分法」を開発した (Toyokuni et al., 2005)。従来の軸対称モデリングに関する問題は、球座標系での支配方程式を解く際に、通常の球座標領域 ($0 < r < \infty$, $0 \leq \theta \leq \pi$, $-\pi \leq \phi \leq \pi$) を用いていたために引き起こされていた。すなわち、通常の球座標領域では地球の大円に沿った構造断面は、 $\phi = 0$ と $\phi = \pi$ におかれた2枚の半円板で表されるため、 $\phi = 0$ の面に、ある任意の構造を適用すると、軸対称性により $\phi = \pi$ の面における構造は $\phi = 0$ のものと対称にならざるを得なかった (図1a)。一方、準球座標領域 ($0 < r < \infty$, $-\pi \leq \theta \leq \pi$, $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$) では、地球の大円に沿った構造断面は $\phi = 0$ における円板1枚のみで表されるため、この面には軸対称ではない、任意の不均質構造モデルを適用できる (図1b)。

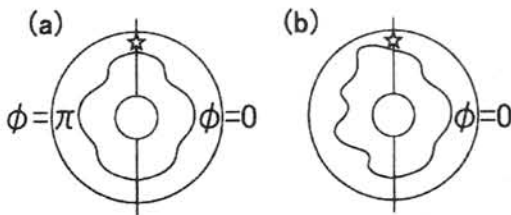


図1: 従来の球座標領域(a)と準球座標領域(b)

3-2. 非対称震源の導入

次に非対称震源が扱えるように軸対称モデリングを拡張した。断層型震源を含む任意のモーメントテンソル震源を、 ϕ 依存性によって5つの独立した要素モーメントテンソル (2種類の縦ずれ型震源, 2種類の横ずれ

型震源, および軸対称震源) に分解した後、各要素モーメントテンソルについて独立な展開係数の方程式を解くことで、軸対称モデリングで任意のモーメントテンソル点震源を入力することに成功した (Toyokuni & Takenaka, 2006)。

3-3. 計算精度の向上

また差分格子内部の任意の位置に存在する不連続面の影響を正しく扱えるよう、「実効差分格子パラメータ」を導入し、全地球差分計算の精度を向上させた (Toyokuni & Takenaka, 2009)。差分格子以上以外の場所に構造の不連続が存在する場合、差分格子内で密度については積分算術平均を、弾性定数については積分調和平均を計算し、この値を新たな格子パラメータ (= 実効差分格子パラメータ) として用いれば、不連続の影響を正しく考慮できることが知られている (Moczó et al., 2002)。通常、実効差分格子パラメータは数値積分により計算されるが、筆者らは代表的な標準地球モデル (PREM, IASP91, SP6, AK135) が多項式の形で与えられていることを利用し、積分を解析的に計算するサブルーチンを考案した。

3-4. 非弾性減衰の導入

さらに、理論波形をより観測波形に近付けるため、軸対称差分プログラムに非弾性減衰の導入を行った。差分法のような時間領域の解法では周波数領域の解法に比べ、媒質の非弾性の効果 (Q値) を取り込むことが困難であったが、「メモリー変数」の考案により現実的な計算が行えるようになっている (例えば Emmerich & Korn, 1987)。軸対称差分を用いたグローバルな計算ではこれまで媒質の非弾性は扱われていなかったが、筆者らはデカルト座標系で確立されてきた手法を球座標系へ拡張することで非弾性減衰の導入に成功した (Toyokuni & Takenaka, 2008)。

3-5. 地球中心の導入

最後に地球中心を取り扱えるよう、プログラムの拡張を行った。地球中心 ($r=0$) は球座標系での支配方程式の特異点である上、球座標系による差分格子を用いると、横方向の格子間隔が中心付近で著しく小さくなるため、解の安定条件が崩れてしまう。安定条件の問題は、格子サイズの異なる複数の格子を動径方向に接続した「不連続格子」の導入により回避できることが知られている。筆者らは Aoi & Fujiwara(1999) がデカルト座標系で用いた不連続格子を球座標系へ拡張・導入した (豊国ほか, 2006)。また地球中心における特異点問題は、中心での波動場を補間で与えることで回避した。地球中心の取り扱いについては、軸対称震源を用いたケースを昨年報告したが (豊国・竹中, 2008)、今回は任意のモーメントテンソル震源にまで拡張した。補間には2次の線形補間を用いているが、軸をまたいだ2点の値を使って補間する際、各要素モーメントテンソルについて、粒子速度・応力の各成分の軸に対する対称性・反対称性を考慮して符号の操作を行う点が通常の補間と異なっている。

4. 計算例

以上のステップによって、従来の軸対称モデリングと同様の効率で、現実的な全地球地震波伝播の計算が可能となった。ここでは計算例として標準地球モデル IASP91 を用い、ピュアな横ずれ型震源 ($M_{11} = -M_{22} = 1$) を適用したケースでの結果を示す。地球中心から地表まで 7 層の格子領域を接合した不連続格子で計算を行った。横方向の格子数は最下層で 16、最上層で 11664 である。差分の時間間隔は 0.05 s とした。震源は $\theta = 0^\circ$ の深さ 635 km におき、震源時間関数にはパルス幅 60 s のベル型関数を用いた。励起後 900 s の地震波伝播のスナップショットを図 2 に示す。この例では地震波の非弾性減衰は

考慮していない。



図 2: 励起後 900 s の地震波伝播のスナップショット(粒子速度の r 成分)
星印は震源位置を表す

発表では本手法の計算結果を、解析解等との波形の比較や波動伝播のムービーで紹介するほか、現実的なモーメントテンソル震源、非弾性減衰を与えた全地球地震波伝播計算で得られた理論波形を、南極における観測波形と比較する予定である。

参考文献

- [1] Aoi & Fujiwara, BSSA, 89, 918 (1999).
- [2] Emmerich & Korn, Geophysics, 52, 1252 (1987).
- [3] Igel & Weber, GRL, 22, 731 (1995).
- [4] Moczo, Kristek, Vavryčuk, Archuleta & Halada, BSSA, 92, 3042 (2002).
- [5] Toyokuni, Takenaka, Wang & Kennett, GRL, 32, L09305, doi:10.1029/2004GL022180 (2005).
- [6] Toyokuni & Takenaka, EPS, 58, e29 (2006).
- [7] 豊国源知・竹中博士・王彦賓, 地震学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, P049 (2006).
- [8] Toyokuni & Takenaka, Eos Trans. AGU, 89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract S13A-1785 (2008).
- [9] 豊国源知・竹中博士, 第 28 回極域地学シンポジウム講演要旨, 13 (2008).
- [10] Toyokuni & Takenaka, CAGEO, 635 (2009).

多結晶体の弾性計算による D'' 層の異方性モデリング

臼井 佑介, 土屋 卓久 (愛媛大学・GRC)

Numerical modeling of D'' anisotropy by the calculation for polycrystalline elasticity

Yusuke USUI, Taku TSUCHIYA (GRC, Ehime Univ.)

はじめに

地球の最下部マントルに位置する D'' 層には、強い S 波の異方性があることが知られている。Usui et al. (2005, 2008) では、南極海の下の D'' 層は 2% の $V_{SV} < V_{SH}$ 異方性があることを報告した。D'' 層の異方性は、マントルの流動に伴う結晶の選択配向 (LPO: Lattice Preferred Orientation) によるものと考えられている。最下部マントルの主要構成物質である $MgSiO_3$ ポストペロプスカイト (ppv) は、完全な Transverse Isotropic Aggregate (TIA) を仮定すると、[001] 軸に選択配向する時のみ、 $V_{SV} < V_{SH}$ 異方性を説明できることが知られている (Tsuchiya et al., 2004)。しかし、もう一つの主要物質である MgO も、強い異方性があることが分かっているが、2 相混合体における異方性の影響は未だなされていない。また、超高温高温下での変形実験は非常に難しく、岩石の変形メカニズムは分かっていない。そこで本研究では、多相混合体の TIA の弾性を計算する手法を開発し、LPO の軸の向き及びその度合いによって変化する異方性をモデリングした。ppv+MgO 混合体で、MgO がどのくらい異方性を支配しているかを調べ、またいろんなパターンでの LPO について計算し、すべり面を特定することで、変形メカニズムの解明にも貢献できると考えられる。

解析手法

本研究では、ppv 及び MgO 共に 1,000,000 粒子とし、volume fraction は $ppv:MgO=7:3$ の pyrolite に近い比率を仮定した。圧力は 120 GPa で、弾性定数は ppv については Tsuchiya et al. (2004)、MgO は Karki et al. (1997) の結果をそれぞれ使用した。LPO の向きは、[100], [010], [001], [110], [101], [011], [111] のパターンを計算し、LPO の度合いを 0~100% の間で変化させた。

多結晶混合体の弾性定数を計算するためには、一つ一つの結晶の弾性テンソルの系を、基準の座標系に回転させる必要がある。本研究では Z-X-Z 系のオイラー角を用いて、以下のように弾性テンソルを回転させた。

$$C'_{ijkl} = T_{ig} T_{jh} C_{ghmn} T_{km} T_{ln}$$

ここで、 C'_{ijkl} は回転後の弾性テンソル、 C_{ghmn} は結晶の弾性テンソル、 T_{ij} は回転テンソルである。次に Voigt-Reuss-Hill 平均をとり、多結晶体の弾性定数を計算した後、以下の Christoffel equation を用いて地震波速度を計算した。

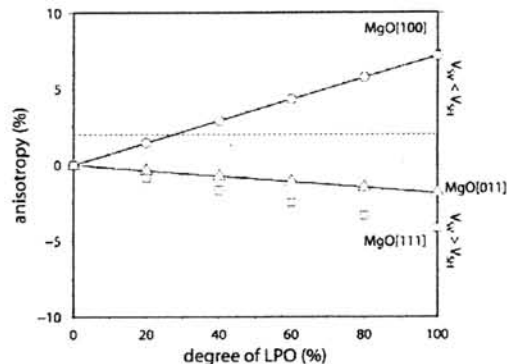
$$\det |c_{ijkl} n_j n_l - \rho V^2 \delta_{ik}| = 0$$

ここで、 n は波の伝搬方向、 ρ は密度、 V は地震波速度、 δ はクロネッカーのデルタである。Transverse Isotropy は以下のように定義した。

$$A_s^T = (V_{SH} - V_{SV}) / V_S \times 100$$

結果と考察

まず、LPO を ppv についてのみ適用した時 (MgO はランダム)、南極海の下の D'' 層で観測された、2.0% の $V_{SV} < V_{SH}$ 異方性を説明するためには、[001], [011] 及び [110] 軸に、それぞれ 42%, 42%, 60% 選択配向させた場合があることが分かった。一方、MgO については (ppv はランダム)、[100] 軸に 27% 選択配向させた場合のみ説明できることが分かった (図)。これにより、MgO は比率が少ないにもかかわらず、ppv より強い異方性があることが分かった。また、最近の高圧実験により、Fe のスピン転位によって異方性がより強くなることが知られており、最下部マントルの異方性は MgO が支配している可能性が高いことが明らかになった。今後は Ca-pv を加えた場合や、MORB 組成の場合などについて調べ、異方性の源を明らかにしていきたい。



Reference

- Karki, B.B., L. Stixrude, S.J. Clark, M.C. Warren, G.J. Ackland, and J. Crain (1997), *American. Min.*, 82, 51-60.
- Tsuchiya, T., J. Tsuchiya, K. Umemoto, and R. M. Wentzcovitch (2004b), *GRL*, 31, doi:10.1029/2004GL020278.
- Usui, Y., Y. Hiramatsu, M. Furumoto, and M. Kanao (2005), *GRL*, 32, doi:10.1029/2005GL022622.
- Usui, Y., Y. Hiramatsu, M. Furumoto, and M. Kanao (2008), *PEPI*, 167, 205-216.

東南極リュツオホルム岩体スカレビークハルセン産ザクロ石・珪線石片麻岩中のフェロシュードブルツカイトの組成を有するイルメナイトールチル共生

川寄智佑 (愛媛大学)・中野伸彦 (九州大学)・小山内康人 (九州大学)

Ilmenite-rutile association with ferropsuedobrookite composition in garnet-sillimanite gneiss from Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica.

T. Kawasaki (Ehime Univ), N. Nakano (Kyushu Univ), Y. Osanai (Kyushu Univ)

1 はじめに

リュツオホルム岩体で最も高い変成作用を受けたランドボークスヘッタ (Hiroi et al 1991) 北東 30km に位置するスカレビークハルセンで、ザクロ石珪線石片麻岩からルチルやイルメナイトと直接したフェロシュードブルツカイト組成のイルメナイトールチルの超微細集合物を見いだしたので、報告する。また、ルチルを包有するザクロ石 (石英エクロジャイト、四国三波川変成帯東赤石山産) の 1 気圧での焼き鈍し実験を予行的に行った。この実験でルチルの周囲にフェロシュードブルツカイトとイルメナイトのコロナ組織が形成された。あわせて報告する

2 ザクロ石珪線石片麻岩

スカレビークハルセンは層状の斜方輝石角閃石片麻岩、ザクロ石珪線石片麻岩、ザクロ石黒雲母片麻岩、大理石、スカルン、メタペーサイトから構成されている (Yoshida et al 1976)。

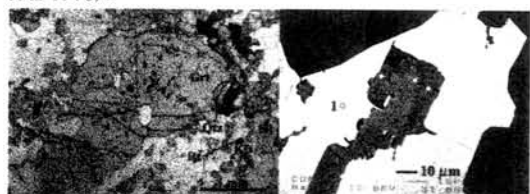


Figure 1. Photomicrograph of garnet-sillimanite gneiss in the plane polarized light (left) and back scattered electron image of Fe-Ti oxides in garnet-sillimanite gneiss (right) from Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. Points 1-4 were chemically analyzed by X-ray microprobe (see Table 1) and examined by Raman spectrometer for identification of the Fe-Ti oxides (see Figure 2).

ザクロ石珪線石片麻岩 (図 1 左) はザクロ石斜方輝石塩基性片麻岩を挟み、ザクロ石、珪線石、斜長石、カリ長石、石英からなり、少量のリチル、イルメナイト、ジルコンを含んでいる。黒雲母はザクロ石中の包有物として産する。この片麻岩はドライの条件で形成されたと考えられる。スカレビークハルセンは、超高温変成作用を被った地域の 1 つであり (Yoshimura et al 2003), ザクロ石珪線石片麻岩のザクロ石中にスピネル+石英、藍晶石、十字石の包有物が見いだされている (Kawakami & Motoyoshi 2004)。

ザクロ石珪線石片麻岩には、超高温変成作用の指標となるスピネルと石英の共生以外に、フェロシュードブルツカイトが存在した可能性がある。以下に詳細を述べる。

3 Fe-Ti 酸化物

ザクロ石珪線石片麻岩のイルメナイト中には、ルチルやフェロシュードブルツカイトの組成を持つイルメナイ

トールチルの極超微細集合物が包含されている (図 1 右)。これらの化学組成分析およびラマン分光分析を行った。

Table 1. Chemical composition of Fe-Ti oxides in garnet-sillimanite gneiss and run products.

	Skallevikshalsen			Experiment*		
	1 (Ilm)	2 (Ilm+Rt)	3 (Rt)	a (Ilm)	b (Fpb)	c (Rt)
SiO ₂	0.03	0.03	0.11	0.04	0.37	0.21
TiO ₂	51.99	64.74	99.23	55.13	72.18	99.30
Al ₂ O ₃	0.02	0.02	n.d.	0.52	1.32	0.05
Cr ₂ O ₃	0.04	0.06	n.d.	0.09	n.d.	0.12
FeO	47.23	23.17	1.51	40.8	20.61	0.58
MnO	0.20	n.d.	n.d.	0.63	0.14	0.10
MgO	0.33	3.28	0.01	3.53	4.24	n.d.
NiO	0.04	n.d.	n.d.	0.04	n.d.	n.d.
ZnO	0.05	n.d.	0.23	0.01	0.12	0.01
CaO	0.03	0.02	0.01	0.04	0.24	0.09
Na ₂ O	0.03	n.d.	0.01	0.02	0.04	n.d.
K ₂ O	n.d.	0.03	n.d.	0.03	0.06	0.02
Total	99.98	91.34	101.12	100.85	99.33	100.47
Number of cations for n oxygens						
n	3	5	2	3	5	2
Si	0.001	0.001	0.001	0.001	0.014	0.003
Ti	0.989	1.998	0.989	1.003	1.999	0.991
Al	0.001	0.001	—	0.015	0.057	0.001
Cr	0.001	0.002	—	0.002	—	0.001
Fe	0.999	0.795	0.017	0.825	0.635	0.006
Mn	0.004	—	—	0.013	0.004	0.001
Mg	0.013	0.201	—	0.127	0.233	—
Ni	0.001	—	—	0.001	—	—
Zn	0.001	—	0.002	—	0.003	—
Ca	0.001	0.001	—	0.001	0.009	0.001
Na	0.001	—	—	0.001	0.003	—
K	—	0.001	—	0.001	0.003	—
Total	2.010	3.000	1.010	1.989	2.961	1.005

*Synthesized at 1 atm and 1050°C for 1 hour under controlling oxygen fugacity (CO₂ : H₂ = 7m/m; 3m/min, P_{O₂} = 0.8 × 10⁻¹⁴ atm).

表 1 にイルメナイト 1, 集合物 2 およびルチル 3 の化学分析値を、図 2 にイルメナイト、集合物、ルチル各部分のラマン分光分析の結果を与えた。

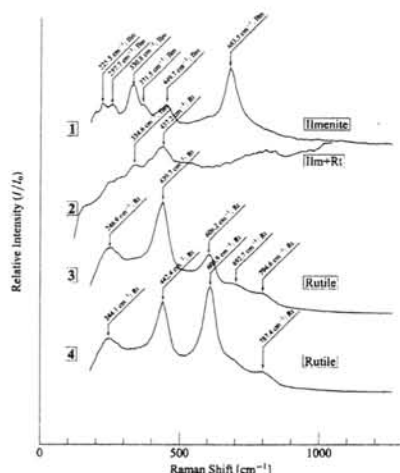


Figure 2. Raman spectrum of Fe-Ti oxides in the garnet-sillimanite gneiss from Skallevikshalsen. Points 2 is the very fine aggregation of ilmenite and rutile.

図 2 に示すように、2 の部分は極超微細なイルメナイトとルチルが集した部分であり、イルメナイトとルチルが 1:1 で混合したフェロシュードブルツカイトの組成を

示している(表1)。2のラマン分光分析結果にみられるようにS/N比が低く、表1に示すように酸化物の合計が極めて低く、イルメナイトやルチルの結晶化が悪いことを物語っている。これは、ピークの変成作用時に、フェロシュードブルッカイトが生成され、イルメナイトやルチルと共存し、それに続く後退変成作用で、フェロシュードブルッカイトがイルメナイトとルチルに分解したと考えられる。Miyake et al (2006) はナビア岩体リーセルラルセンの超高温変成岩の石英斑状変晶中にフェロシュードブルッカイトの離溶組織を見だしており、後退変成作用の温度を800°C以上と見積もっている。

Lindsley (1991) のFe-Ti 酸化物の1気圧での相平衡図によると、フェロシュードブルッカイトは1140°C以下では不安定であり、イルメナイトとルチルの組み合わせになり、1140°C以上の高温条件で安定であり、FeO-TiO₂系の総化学組成によりイルメナイト+フェロシュードブルッカイトの組み合わせかフェロシュードブルッカイトとルチルの組み合わせとなる。Lindsley (1991) の実験結果をこのままスカレピークハルセンに適用すると、1140°Cを超える変成作用を被ったことになる。

4 石英エクロジヤイトの焼き鈍し実験

Lindsley (1991) の実験はFeO-TiO₂ 二成分系で行われたので、天然の系にそのまま適用するには無理がある。MgO成分を含む系でイルメナイト-フェロシュードブルッカイト-ルチルの相平衡を調べる必要がある。MgO成分が加わることで、フェロシュードブルッカイトの安定化温度が下がると予想される。

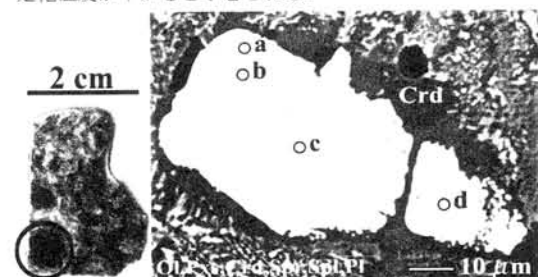


Figure 3. Eclogite fragment (left) annealed at 1 atm and 1050°C for 4 hours under controlling oxygen fugacity ($\text{CO}_2/\text{H}_2=7/3$) and the back scattered electron image of reaction corona (right) formed around rutile. Eclogitic garnet converted to the low-pressure and high-temperature assemblage including olivine, pyroxenes, cordierite, sapphirine, spinel and plagioclase. Points a - d were chemically analyzed by X-ray microprobe (see Table 1) and examined by Raman spectrometer for identification of the Fe-Ti oxides (see Figure 3).

我々は、ルチルを含んで、反応性が高い岩石試料として、四国三波川東赤石山の石英エクロジヤイトを選んだ。

このエクロジヤイトは、ザクロ石斑状変晶中にルチルを包有している。ザクロ石が低圧高温条件で分解する際にルチルと反応して、FeO-MgO-TiO₂系酸化物が新たに形成されると予想される。

実験には、石英エクロジヤイトの岩石片(図3左)を出発物質として用い、酸素分圧制御式電気炉を使用した。電気炉に流入する炭酸ガスと水素ガスの混合比を7ml/min:3ml/minとし、酸素分圧を制御した。実験温度を1050°Cとし、実験時間を4時間とした。

実験生成物を図3に示した。ザクロ石は低圧高温集合体(カンラン石、輝石、堇青石、サフィリン、スピネル、斜長石)へと変化し、ルチルの周囲にフェロシュードブルッカイト-イルメナイトのコロナ組織が形成された。

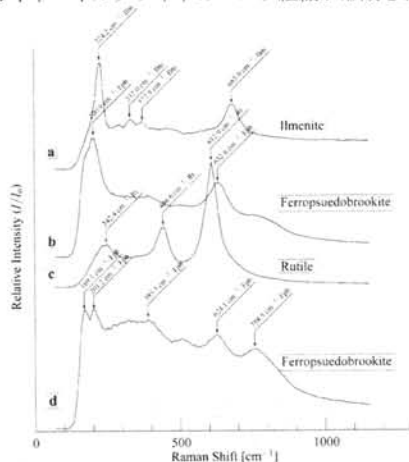


Figure 4. Raman spectrum of the Fe-Ti oxides in run products annealed at 1 atm and 1050°C for 4 hours under controlling oxygen fugacity ($\text{CO}_2/\text{H}_2=7/3$; $P_{\text{O}_2} \approx 0.8 \times 10^{-14}$). Points a - d were chemically analyzed by X-ray microprobe (see Table 1).

5 結論

圧力増加やMgO成分の減少とともに、フェロシュードブルッカイトの安定化温度は上昇すると考えられる。今回の焼き鈍し実験から、スカレピークハルセンでフェロシュードブルッカイトが形成された温度は少なくとも1050°C以上であると考えられる。

参考文献

- Hiroi et al 1991 in Geological evolution of Antarctica Cambridge Univ Press 83-87
- Kawakami & Motoyoshi 2004 Jour Mineral Petrol Sci 99 311-319
- Lindsley 1991 in Oxide Minerals Rev Mineral 25 69-106
- Miyake et al 2006 Abst 26th Symp Polar Geosci 56
- Yoshida et al 1976 Antract Geol Map Ser 9 Natl Inst Polar Res
- Yoshimura et al 2003 Abst 2003 Annual Meeting Japan Assoc Mineral Petrol Econ Geol 260

南極、スカレヴィークハルセンの Mg-Al に富むグラニュ ライト中に見出された渦巻き成長石墨

廣井美邦 (千葉大・理)、サティッシュ・クマール, M. (静岡大・理),
ダンクレー, D. (極地研)、加藤睦実 (千葉大・理)、足立達朗 (極地研)、
外田智千 (極地研)、本吉洋一 (極地研)、白石和行 (極地研)

Graphite with growth spirals in Mg-Al-rich granulite from Skallevikhalsen, Antarctica

Y. Hiroi (Chiba Univ.), Satish-Kumar, M. (Shizuoka Univ.),
Dunkley, D. (NIPR), Kato, M. (Chiba Univ.), Adachi, T. (NIPR),
Hokada, T. (NIPR), Motoyoshi, Y. (NIPR), and Shiraishi, K. (NIPR)

南極、昭和基地南方のスカレヴィークハルセン地域には、ドロマイト質大理石が層状に産出する。その中には、ノジュール状の多様な岩塊が含まれている。その一つは、Mg サフィリンや Mg スピネル、Mg 堇青石等によって構成された Mg-Al に富むグラニュライト (*Sp. YH05011501C*) で、少量の偏在した石墨を含む。Mg 堇青石、灰長石、タルクに直に接した一部の石墨の表面に、渦巻き成長ステップが見出された (現在までに 5 例が確認されている) (第 1 図)。これまで、変成した石灰 (珪質) 岩中で、炭酸塩鉱物に接した石墨に渦巻き成長ステップが見られることがあることは報告されているが (たとえば、Rakovan & Jaszczak, 2002)、グラニュライト相変成岩中の珪酸塩鉱物に接する石墨に渦巻き成長ステップが見出されたのは世界初であろう。それは、グラニュライト相変成作用時の流体の有無や組成、挙動等についての貴重な情報源となる。

渦巻き成長した石墨を含む Mg-Al に富むグラニュライト岩塊 (*Sp. YH05011501C*) の構成鉱物は、Mg-サフィリン、Mg-スピネル、コランダム、Mg-堇青石、フロゴパイト、タル

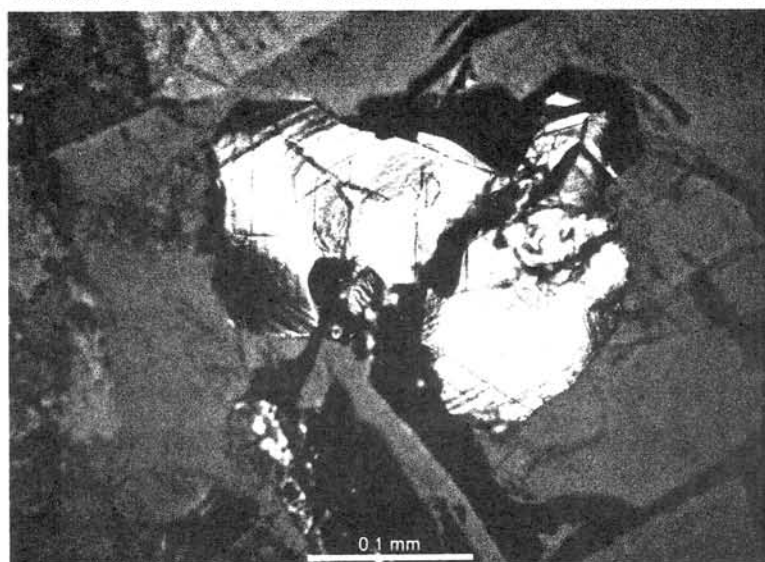
ク、ホルンブレンド、灰長石、Na に富む斜長石 (An 12-28)、ルチル、ジルコン、燐灰石、モナザイト、ドロマイト、マグネサイトである。このほかに、堇青石を局所的に置換する緑泥石、灰長石を部分的に置換する絹雲母、方解石も少量産出する。これらの鉱物は不均一に混在しているが、スピネルと堇青石とが直接に接することはない。また、一部の Mg スピネルが部分的にコランダムとマグネサイトに置換されているのが観察される。なお、この Mg-Al に富むグラニュライト岩塊の周辺のドロマイト質大理石には、少量の Mg 橄欖石、Mg 斜方輝石、Mg スピネル、フロゴパイト、ルチル、マグネサイト、石墨が含まれている。

多様な産状を示す石墨の炭素同位体比は次の通りであった。

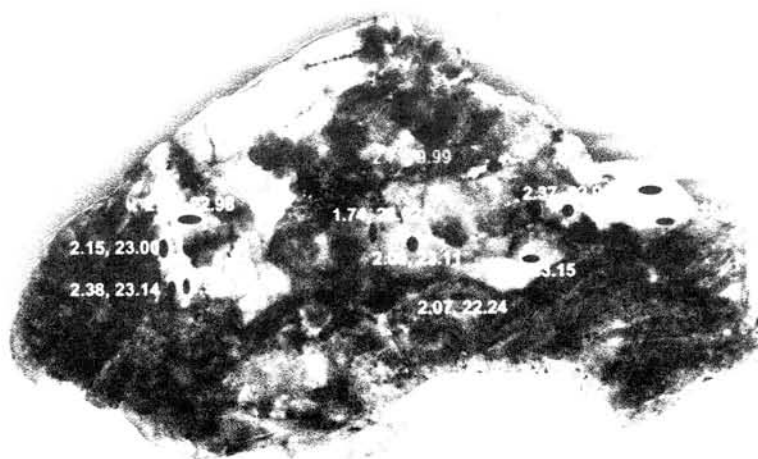
1. Single crystal, subhedral (partly hexagonal) with highly reflecting and smooth surface
 $\delta^{13}\text{C} = -3.22\text{‰}$
2. Single crystal with irregular surface
 $\delta^{13}\text{C} = -2.78\text{‰}$
3. Very fine grained aggregates of graphite crystals
 $\delta^{13}\text{C} = -2.37\text{‰}$

$$\delta^{13}\text{C} = -2.18 \text{ ‰}$$

なく、閉じた系内で、部分融解を含む再結晶作用（昇温変成から後退変成まで）が進んだものと考えられる。各鉱物の産状から、特に渦巻き成長した石墨は、降温時に、部分融解メルトから、あるいはそれが固結するに従って放出された H_2O に富む流体相から、ゆっくりと成長したものと考えられる。



第1図. 渦巻き成長ステップの見られる石墨結晶。この研磨薄片の表面には灰長石と Mg 堇青石があり、石墨はその下にあることに注意。



第2図. 炭酸塩鉱物(ドロマイトとマグネサイト)の炭素と酸素の同位体比

コンダライトと石灰珪質‘岩脈’の相互作用 ：チャルノッカイトの形成

加藤睦実・廣井美邦（千葉大・理）・大和田正明（山口大・理工）・外田智千（極地研）

Interactions between khondalite and calc-silicate ‘dykes’

: charnockite formation after khondalite

Mutsumi Kato, Yoshikuni Hiroi (Chiba Univ.), Masaaki Owada (Yamaguchi Univ.),

Tomokazu Hokada (NIPR)

（Ⅰ）はじめに

東南極のリュツォ・ホルム岩体、スカレヴィックハルセンには、コンダライトと呼ばれる泥質グラニュライトが、ドロマイト質大理石や珪岩と互層して産出する。コンダライトはザクロ石や珪線石に富み、パーアルミナスな全岩化学組成をもつ

($ASI = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + CaO) > 1$)。

コンダライト層とドロマイト質大理石層の境界部には、単斜輝石と斜長石あるいはスカポライトに富む、石灰珪質な岩石が発達していることがある（Yoshida et al., 1976; Matsued et al., 1983）。さらに、石灰珪質岩が、コンダライト層に貫入した‘岩脈’状になっていることもある。JARE46 の現地調査では、そのような石灰珪質岩脈との接触部で、コンダライトがチャルノッカイトへと変化しているのが確認された。パーアルミナスなコンダライトが、メタアルミナスなチャルノッカイト ($Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + CaO) \leq 1$) へと変化する例は、ほとんど知られていない。今回、コンダライトと石灰珪質岩脈の接触部の岩石記載をおこない、チャルノッカイトの形成過程について検討した。

（Ⅱ）岩石記載

コンダライト（図 1：①，②）は、石灰珪質岩脈に向かって、ザクロ石 - スピネル - 黒雲母片麻岩（図 1：③，⑤）、チャルノッカイト（図 1：⑥，⑦）へと漸移的に変化する。

コンダライト（①，②）は主に、ザクロ石

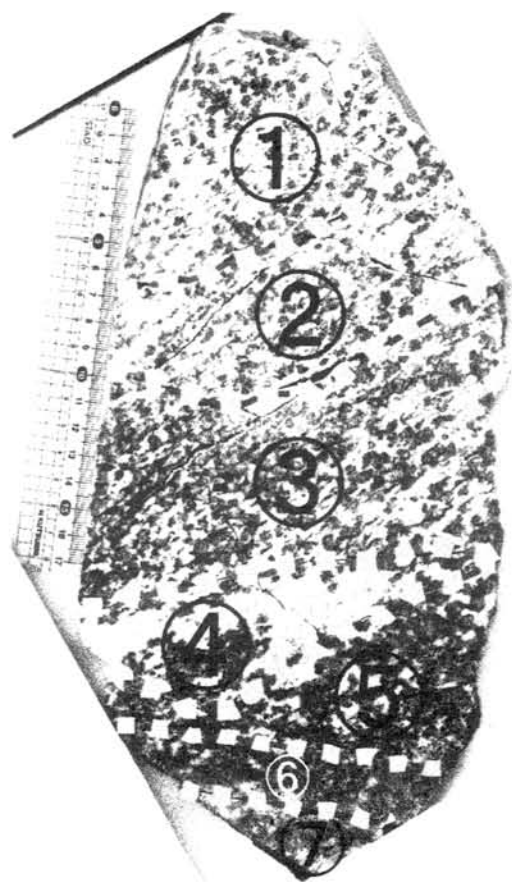


図 1. コンダライト - チャルノッカイト境界の岩石研磨面写真 (YH05011902A)。

＋珪線石＋石英＋アルカリ長石＋ルチル＋イルメナイト＋石墨からなる。斜長石はほとんど見られない。マトリックスでは、昇温時に脱水反応が進行して、含水鉱物が消費されつくした状態になっている。また、コンダライトは石英とアルカリ長石に富むため、水に富む流体が存在すれば、比較的低温で融解する。

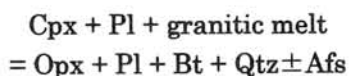
ザクロ石 - スピネル - 黒雲母片麻岩 (③, ⑤) は主に、ザクロ石 + スピネル + 黒雲母 + アルカリ長石 + 斜長石 + 石英 ± 石墨からなる (スピネル、黒雲母、斜長石の出現によって、①, ②と区別される)。珪線石は、スピネル + 長石 (まれに、コランダム + 長石) のシンプレクタイトによって置換されているため、マトリックスにはほとんど見られないが、ザクロ石中の包有物として少量出現する。石英は融食系を示し、そのモードが減少する。斜長石は、ザクロ石やスピネル、黒雲母などの周囲に濃集する。一部のザクロ石は、虫食い状のスピネルを包有していることがある。鏡下での各鉱物の産状から、このような岩石中では、外部からの水に富む流体の流入によって、部分融解反応が進行したと推定されている (廣井ほか, 2005)。実際、図 1 の④では、石英とアルカリ長石 (およびジルコン) に富む脈が形成されており、メルトが形成されたことを示唆する。この場合、流体は石灰珪質岩脈から供給された可能性が高い。

チャルノッカイトは、構成鉱物とその組織の違いから、次の 2 つ (⑥と⑦) に区分される。

⑥は主に、斜方輝石 + アルカリ長石 + 斜長石 + 石英 + 黒雲母 ± ザクロ石 ± 石墨からなる (斜方輝石の出現によって、③, ⑤と区別される)。少量の石英が、レンズ状に産出する。また、ザクロ石が斜方輝石 + 黒雲母 + 斜長石のシンプレクタイトに置換されていることもあり、コンダライトから⑥が形成されたと考えられる。

一方、⑦は、斜方輝石 + アルカリ長石 + 斜長石 + 石英 + 黒雲母 ± 単斜輝石 ± スカポリイト ± ホルンブレンド ± 石墨からなり、粗粒で半自形～自形の斜長石が出現する。斜長石中には、反復累帯構造が発達していることもある (図 2)。一部の斜長石は融食形を示し、アルカリ長石と接する。また、

ジルコンが多く出現する。斜方輝石中には、単斜輝石が包有されていることがあり、次の反応が進んだと考えられる。



すなわち、石灰珪質岩脈が、コンダライトの部分融解によって形成された花崗岩質メルトと反応して、⑦が形成されたと考えられる。⑥と⑦の境界は、ザクロ石と単斜輝石の有無、長石の粒径の増加によって特徴づけられ、もとのコンダライト - 石灰珪質岩脈境界であった可能性が高い。

(Ⅲ) 全岩化学組成

以上のような鉱物組合せの変化につれて、岩石の全岩化学組成が系統的に変化するはずである。そこで、YH05011902A (図 1 : ①～⑦) の全岩化学組成を測定した。

コンダライトからザクロ石 - スピネル - 黒雲母片麻岩、チャルノッカイトへの変化にともなって、

- (1) SiO₂ の含有量が減少する。ただし、④ (石英 + アルカリ長石脈) および⑦は、SiO₂ に富んでいる。
- (2) FeO, MnO, MgO, TiO₂, Cr, Ni, Y の含有量が増加する。④, ⑦はこれらの成分に乏しい。
- (3) CaO, K₂O の含有量が増加する。一方、Al₂O₃ 含有量は減少するため、ASI は 2.28 (①) から 0.91 (⑦) へと減少する。ASI が 1.08 (⑥) 程度になると、斜方輝石が出現するようになる。
- (4) LIL 元素 (K₂O, Rb, Sr, Ba) の含有量が増加する。

また、次のことが推察される。

- (A) MnO および Y は、ザクロ石に濃集している。
- (B) CaO 含有量の増加は、斜長石のモードの増加に、また、K₂O 含有量の増加は、黒雲母のモードの増加による。
- (C) K₂O, Rb 含有量の増加は、黒雲母の

モード、Sr は斜長石のモードの増加による。

(1) および (2) からは、コンダライトの部分融解によって形成された、パーアルミナスな花崗岩質メルトが一部抜け去ったことにより、ザクロ石-スピネル-黒雲母片麻岩が形成されたと考えられる。

また、(3) は、コンダライト (パーアルミナス) と石灰珪質岩脈 (メタアルミナス) が反応 (混合) して、チャルノッカイト (⑥) が形成されたことを、(4) は、石灰珪質岩脈から供給された流体とともに、LIL 元素がコンダライト中に流入したことを示唆する。

引用文献

- 廣井美邦・本吉洋一・外田智千・白石和行 (2005) スリランカおよび南極産のザクロ石-珪線石片麻岩 (コンダライト) におけるスピネル形成反応. 日本岩石鉱物鉱床学会学術講演会, 講演要旨集, 220.
- Matsueda, H., Motoyoshi, Y. and Matsumoto, Y. (1983). Mg-Al Skarn of the skallevikhalsen on the east coast of Lutzow-Holm Bay, East Antarctica. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue, 28, 166-182.
- Yoshida, M., Yoshida, Y., Ando, H., Ishikawa, T. and Tatsumi, T. (1976) Explanatory text of geological map of skallen, Antarctica.

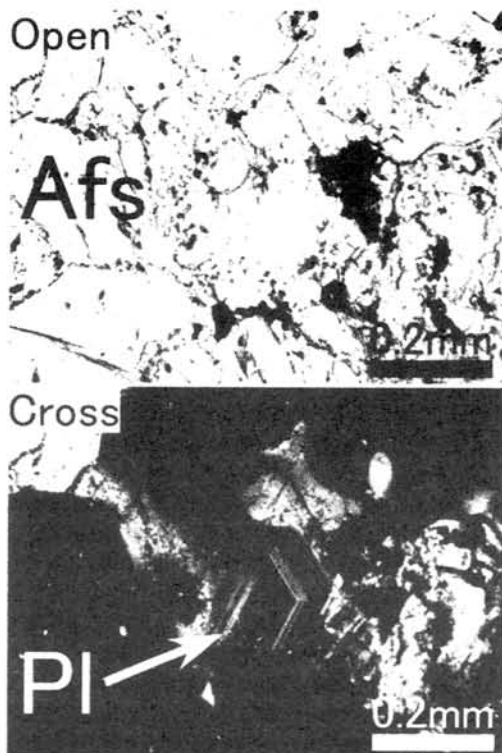


図 2. 反復累帯構造の発達した斜長石 (⑦に出現) の偏光顕微鏡写真。

反復累帯構造を示す斜長石は融食されており、アルカリ長石と接して出現する。Afs: アルカリ長石、Pl: 斜長石。

表 1. コンダライト、ザクロ石-スピネル-黒雲母片麻岩、チャルノッカイトの全岩化学組成

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	(wt%)	Total
Khondalite												
YH05011902A-①	55.03	0.81	21.25	12.01	0.15	3.34	0.94	1.99	4.02	0.04		99.57
YH05011902A-②	54.64	0.79	21.39	11.74	0.14	3.26	1.00	1.71	4.90	0.04		99.59
Grt-Spl-Bt gneiss												
YH05011902A-③	51.83	0.86	21.65	12.87	0.17	3.55	1.34	1.59	5.82	0.04		99.70
YH05011902A-⑤	50.64	0.96	20.24	13.08	0.24	3.86	3.54	1.96	5.32	0.03		99.86
Qtz+Afs vein												
YH05011902A-④	64.93	0.43	15.50	8.87	0.15	2.29	1.77	1.33	4.98	0.03		100.28
Charnokite												
YH05011902A-⑥	52.77	1.01	19.75	9.80	0.14	3.12	4.73	2.45	5.24	0.03		99.04
YH05011902A-⑦	62.81	0.60	16.86	3.75	0.04	1.58	4.83	1.89	6.16	0.02		98.53
	Ba	Cr	Nb	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	(ppm)	ASI
Khondalite												
YH05011902A-①	867.40	232.80	16.20	55.20	117.08	156.10	168.51	79.38	115.25	129.30		2.28
YH05011902A-②	1082.40	225.50	17.21	48.90	140.26	191.10	168.78	80.84	109.33	132.00		2.15
Grt-Spl-Bt gneiss												
YH05011902A-③	1117.90	253.40	18.21	94.40	177.25	227.30	172.45	90.38	164.34	143.90		1.91
YH05011902A-⑤	1736.30	260.50	15.42	123.60	251.10	415.60	165.53	99.71	99.26	282.40		1.31
Qtz+Afs vein												
YH05011902A-④	1079.20	146.70	10.29	65.80	175.05	271.80	94.89	63.58	80.38	363.80		1.44
Charnokite												
YH05011902A-⑥	2104.00	226.80	15.86	87.80	253.53	559.80	152.75	80.82	96.56	205.90		1.08
YH05011902A-⑦	4541.60	95.00	13.89	40.60	225.29	711.60	66.18	21.09	56.33	412.80		0.91

スリランカ・ハイランド岩体産の超高温泥質変成岩中の Mg 十字石の発見とその意味

柳 綾彦・廣井 美邦 (千葉大学大学院・理)

Discovery of Mg-staurolite in ultrahigh temperature pelitic granulite
from Highland Complex, Sri Lanka and its significance
Ayahiko Yanagi, Yoshikuni Hiroi (Chiba Univ.)

スリランカには高度変成岩類が広く分布している。中央部のハイランド岩体は原生代最末期～古生代初期のグラニュライト相の変成岩で構成されている。またスリランカは、かつて、南インド、東南極と隣接してゴンドワナ超大陸中に存在したと考えられている。よって、超大陸集合・離散時における下部～中部地殻の地質過程を考える上で重要である。

今回、ハイランド岩体中央部の Gampola 付近の超高温泥質グラニュライト (資料 No. 04083001B, E, I, L, 04083005B) 中から Mg に富む十字石 (以下, Mg 十字石と表記) とそれが分解して生じたと考えられる鉱物組合せを見出したので報告する。

Gampola 周辺の泥質変成岩からは、超高温条件を示す斜方輝石+珪線石+石英、サフィリン+石英の組合せや、高温での減圧を示すザクロ石減圧分解組織が報告され、時計回りの温度圧力経路が提唱されている (Ogo et al., 1992 ; Sajeew and Osanai, 2004 ; Osanai et al., 2006) 。また藍晶石+サフィリン±スピネル+ザクロ石の組合せの存在から、Mg 十字石の存在が予想されていた (Hiroi, 1992) 。

近年、ゴンドワナ超大陸内の数地域から、Mg に富む十字石や、それが分解した鉱物組合せが報告されてきた (例えば、インド産超高温変成岩 Tsunogae et al., 2008) 。一方、Mg 端成分十字石 (Schreyer, 1968 , 1988 ; Fockenberg, 1998) や、Mg および Fe を含む十字石 (Hellman and Green, 1979 ; Lattard

and Bubenik, 1995 ; Sato et al., 2009) の合成実験がなされ、Mg 十字石が高压下で安定であることが示された。

Gampola の Mg 十字石とその分解物の組合せを含む泥質グラニュライトの構成鉱物は、ザクロ石、珪線石、黒雲母、斜方輝石、石英、アルカリ長石、斜長石、堇青石、十字石、サフィリン、スピネル、イルメナイト、磁鉄鉱、燐灰石、モナザイト、ジルコンである。ザクロ石には石英、黒雲母、藍晶石、珪線石、十字石、サフィリン、スピネル、斜方輝石、堇青石、イルメナイト、ルチル、燐灰石、モナザイト、ジルコン、コランダムが含まれる。

今回見出した Mg 十字石とその分解生成物と考えられる鉱物組合せは、全てザクロ石 ($\text{Mg}/(\text{Fe}+\text{Mg})=0.45\sim0.55$) に包有され、それらは (A) Mg 十字石 (B) Mg 十字石+サフィリン (C) 藍晶石+サフィリン±スピネルである。また希に (D) Mg 十字石+藍晶石+サフィリン (図 1) (E) 珪線石+サフィリン (F) 藍晶石+スピネル+サフィリン+石英+ザクロ石 (図 2) が存在する。

Mg 十字石の X_{Mg} ($=\text{Mg}/(\text{Fe}+\text{Mg})$) は 0.48 で、TiO を 1.38~1.61wt% 含む。サフィリン ($\text{Mg}/(\text{Fe}+\text{Mg})=0.77$) は Mg 十字石の一部を取り囲んで存在することが多い。

藍晶石+サフィリン±スピネルは、Mg 十字石のリムが藍晶石+サフィリンに置換することがあるため、Mg 十字石が比較的高圧下で分解して形成されたと考えられる。

ザクロ石中の珪線石+サフィリンも十字石の分解物と考えられる。この珪線石の一部はさらにスピネル+堇青石によって置換されることがある。

(F) の石英を含む組合せも、他の Mg 十字石分解物の産状に似ており、藍晶石領域における Mg 十字石分解物である可能性がある。ただしここでは、藍晶石にザクロ石（自形結晶あり）が包有され、サフィリンには石英（一部自形を示す）が包有されている。サフィリン+石英は平行連晶している場合もある。

顕微鏡観察と BSE 像から、この鉱物集合体は、サフィリンと石英が連晶している部分とそれ以外の部分の、2つの異なるサブドメインに分けられる。サブドメインごとに反応やその時期が異なる。サフィリン+石英の連晶は、かつて Mg 十字石がザクロ石との反応によって形成された可能性がある。この場合、ザクロ石は反応物である。一方、Mg 十字石が単純に分解すると、ザクロ石は生成物になる。いずれの反応も終了後には1つのドメインを構成しながら、同じ温度圧力変化を受けたと考えられる。ただしサフィリン+石英は、ザクロ石に包有された斜方輝石と藍晶石とが反応して生じた可能性もある。

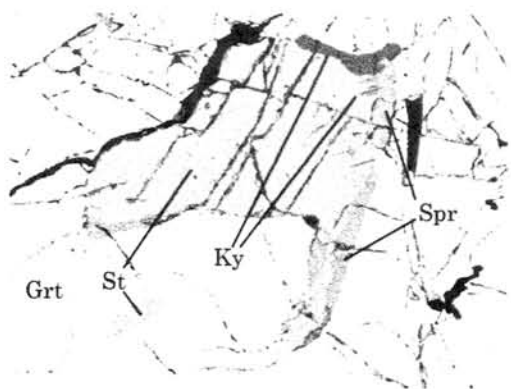


図1 Gampola 産の超高温泥質変成岩中のザクロ石 (Grt) に包有される Mg 十字石 (St) + 藍晶石 (Ky) + サフィリン (Spr) の組合せの BSE 像。Mg 十字石のリムに藍晶石とサフィリンが

晶出している。

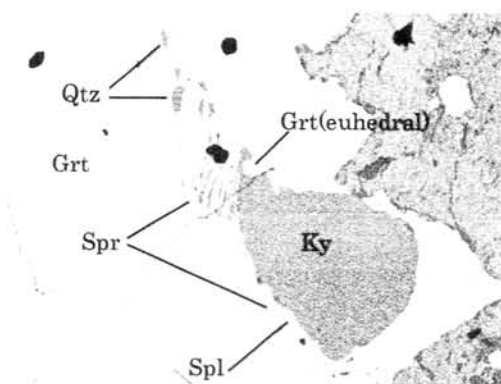


図2 ザクロ石 (Grt) 中の藍晶石+スピネル (Spl) + サフィリン+石英 (Qtz) の組み合わせの BSE 像。藍晶石にザクロ石が、サフィリンに石英が包有されている。

Geochemical behavior of selected trace elements from weathered Gneiss rock at Schirmacher Oasis, East Antarctica

Baba Musta & Hennie F. W. S. Erfen
School of Science and Technology
Universiti Malaysia Sabah
88999, Kota Kinabalu
Sabah, MALAYSIA

The study area is situated between south latitudes $70^{\circ}44.5'$ – $70^{\circ}46.5'$ and east longitudes $11^{\circ}32.5'$ – $11^{\circ}50.5'$ in Schirmacher Oasis, East Antarctica. The geological background of the study area consists of gneiss rocks and intrusion rocks. Gneiss rock is classified as quartzofelspathic streaky gneiss, augen layers in quartzofelspathic gneiss, garnet rich biotite quartzofelspathic gneiss, quartzofelspathic augen gneiss (\pm garnet), quartz-garnet-sillimanite-perthite (\pm graphite) gneiss (GSI, 1989). Rb/Sr age data of the garnet biotite gneiss and leucogneiss indicate a Late Proterozoic age. Verma *et al.* (1987) determined the ages of quartzofelspathic gneisses in the range of Early Palaeozoic – Late Proterozoic. In Antarctica, as a polar climate, chemical weathering is still occurred with less intensity. The rocks outcrop exposed to the weathering agent as a result of the melting of glacier during the summer season. It is believed that most probably the maximum chemical weathering such as oxidation and hydrolysis occurred during the summer season. Based on visual inspection in the field and hand specimens, different weathering stages, from fresh rock to saprolite, were distinguished based on the changes in colour and textures (Figure 1). The result of petrography study shows that the fresh rock is a medium to coarse grained and garnet rich gneiss with a porphyroblastic texture (Baba & Sanudin, 2006a). The main

constituents are quartz, feldspar, biotite, garnet and opaques minerals. The saprolite petrography shows the preserves of the parent rock textures; however most of the weathered sample has brown iron staining (Figure 2). The increase of iron oxide concentration in weathered gneiss rock was due to the oxidation process (Baba & Sanudin, 2006b). Microstructural analysis indicated that most of the garnet is disintegrated and form iron oxides due to the oxidation; however the development of sericite from feldspar that are regarded as evidence of hydrolysis reaction (Baba & Sanudin, 2008). Initial stage of weathering produces mainly precipitates of iron oxide along biotite cleavages planes. According to Le Pera *et al.* (2001) further hydrolysis reaction of feldspar during warmer and more humid climates condition could be formed clay minerals such as kaolinite and halloysite. It also could be occurred in the study area even in the extreme cold climate. The main objective of this study is to analysis the concentration of trace metals namely As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ni, Pb, Rb, Sr, V, U and Zn in fresh rock and weathered gneiss rocks. The analysis was carried out using Inductive Couple Plasma Mass Spectrophotometer

(ICPMS) Perkin Elmer Model Optima 5300DV.

The results from the chemical analysis show that generally, all fresh gneiss rock has high concentration of trace metals compared with the weathered gneiss rock (Table 1). The data obtained also shows the concentration of Ba, Zn, and U in fresh rock is significantly higher compared to V, Cr, Rb, Ga, Co, As, Cd, Cu, Ni, and Pb. The averages concentrations of Ba, Zn, and Cu in fresh samples are 180.36 $\mu\text{g/g}$, 177.88 $\mu\text{g/g}$, and 104.92 $\mu\text{g/g}$ respectively. Whereas, Rb, V, Cr, Ga, Co, Cu, Ni, Pb, Cd, and As, averages concentration are 64.12 $\mu\text{g/g}$, 62.36 $\mu\text{g/g}$, 39.41 $\mu\text{g/g}$, 34.58 $\mu\text{g/g}$, 23.61 $\mu\text{g/g}$, 17.48 $\mu\text{g/g}$, 22.92 $\mu\text{g/g}$, 5.67 $\mu\text{g/g}$, 0.11 $\mu\text{g/g}$, and below detection limit (bdl). High concentration of elements such as Ba, Zn, U and Rb is expected since the parent gneiss rock usually high concentration of that element. However, the lowest concentration of As, Cd, and Pb is also expected since the concentration in the parent rock also very low. The result obtained from the analysis also indicates that most of the trace metals are decreased with the weathering processes due to the leached out of elements from the rock forming minerals. But, there are certain trace metals increased in weathered rocks might be due to the absorption of the elements in the surface of secondary minerals.

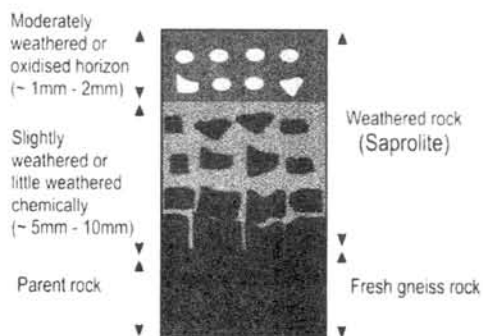


Figure 1: Typical weathering profile of gneiss rock in study area.

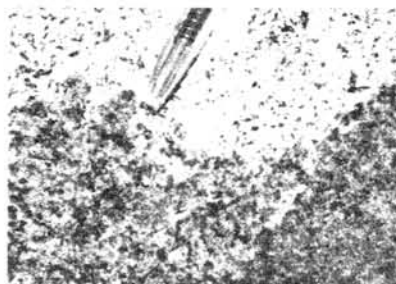


Figure 2: Oxidation of rock sample showing the brown iron staining.

Table 1. Concentration of heavy metals in fresh rock samples (F) and weathered rock (W) from the study area.

Elements ($\mu\text{g/g}$)	10F	10W	14F	14W
As	bdl	bdl	bdl	0.21
Ba	48.49	17.90	61.35	32.73
Cd	0.00	1.77	0.37	bdl
Co	16.79	13.36	18.05	6.91
Cr	24.82	14.07	16.14	8.62
Cu	14.22	bdl	16.57	9.89
Ga	31.69	7.25	44.00	4.11
Ni	11.47	6.82	11.28	4.17
Pb	3.34	2.75	22.80	1.34
Rb	88.40	10.48	68.90	16.04
Sr	1.28	2.58	2.11	1.80
V	36.56	30.15	44.84	18.15
U	96.20	65.80	75.80	41.88
Zn	793.85	72.95	103.65	37.64

Elements ($\mu\text{g/g}$)	16F	16W	S21F	S21W
As	bdl	bdl	bdl	bdl
Ba	211.10	77.60	721.5	23.53
Cd	bdl	bdl	bdl	bdl
Co	30.62	20.15	36.96	11.74
Cr	26.81	13.59	23.52	9.43
Cu	27.56	23.76	12.09	52.75
Ga	35.42	13.17	90.35	5.87
Ni	27.67	27.15	7.12	3.36
Pb	3.31	3.07	5.86	1.94
Rb	40.13	13.12	159.65	bdl
Sr	30.29	23.83	57.10	3.34
V	39.97	27.69	203.15	17.20
U	106.35	68.70	238.70	54.50
Zn	112.65	42.76	169.10	64.65

Elements ($\mu\text{g/g}$)	S23F	S23W	S24F	S24W
As	bdl	bdl	bdl	bdl
Ba	228.50	66.45	73.65	18.64
Cd	0.14	2.42	bdl	0.3400
Co	16.78	13.84	41.64	10.86
Cr	28.57	7.93	102.80	6.15
Cu	28.38	13.61	22.23	11.45
Ga	22.31	6.50	39.63	bdl
Ni	19.63	9.67	94.85	3.11
Pb	4.47	3.06	1.56	3.79
Rb	70.95	44.77	20.74	11.47
Sr	3.31	3.18	90.85	4.55
V	41.23	19.03	92.65	16.41
U	123.55	51.10	109.75	28.19
Zn	80.30	74.20	59.70	24.17

Elements ($\mu\text{g/g}$)	25F	25W	26W	26F
As	bdl	bdl	bdl	bdl
Ba	84.60	56.30	64.20	13.67
Cd	0.36	0.8	bdl	bdl
Co	17.69	11.53	14.24	10.33
Cr	67.20	19.38	11.33	25.38
Cu	14.56	14.98	14.31	4.22
Ga	13.22	10.84	9.99	bdl
Ni	9.31	5.73	9.86	2.03
Pb	2.67	1.76	3.73	1.38
Rb	58.25	12.84	52.00	5.92
Sr	2.41	4.36	4.73	1.17
V	37.31	23.87	33.72	3.20
U	75.95	36.98	60.75	13.02
Zn	80.00	87.30	90.00	23.77

bdl = Below detection limit

F= Fresh rock

W= Weathered rock

Acknowledgement

The authors would like to thanks the Academy Science of Malaysia (ASM) and Universiti Malaysia Sabah (UMS) for the financial support and arranged the scientific expedition to Antarctica. Thanks to the National of Antarctica and Ocean Research, Goa India for the support. All laboratories work has been done in School Science and Technology, UMS.

References

- Baba Musta & Sanudin Hj. Tahir, 2006a. Mineralogical study of weathered Gneiss Rock from Schirmacher Oasis, East Antarctica. *Proceedings Antarctic Research in the University of Malaya, 27-28 June 2005*, Kuala Lumpur: 61-66.
- Baba Musta & Sanudin Hj. Tahir. 2006b. Geochemical behaviour of major elements and trace elements in weathered gneiss rock from Schimarcher Oasis, East. Antarctica. *Abstracts on The 26th Symposium on Polar Geoscience*, Tokyo, Japan 2006. National Institute of Polar Research. Tokyo Japan.
- Baba Musta & Sanudin Tahir, 2008. Microstructural development of weathered gneiss rock from Schimarcher Oasis, East Antarctica. *Abstract Proceedings on Polar Research-Arctic and Antarctic Perspective in the International Polar Year, SCAR/IASC IPY open Science Conference*, St. Petersburg Russia, 8 July – 11 July, 2008: 78.
- Geological Survey of India (1989). *Geological Map of Schimarcher Oasis, East Antarctica*. Geological Survey of India, Faridabad, India.
- Le Pera, E, Critelli, S & Sorriso-Valvo, M. 2001. Weathering of gneiss in Clabria, Southern Italy. *Catena*, **42**: 1 – 15.
- Verma, S.K, Mittal, G. S. & Dayal, A. M. (1987). *Technical Publication No. 4*. Department of Ocean Development, New Delhi: 43-54.

東南極セール・ロンダーネの超大陸形成から分裂に至る火成活動史

大和田正明 (山口大), 志村俊昭 (新潟大), 柚原雅樹 (福岡大), 東田和弘 (名古屋大), 亀井淳志 (島根大)

Magma activities from amalgamation to breakup of Gondwana in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

M. Owada (Yamaguchi Univ.), T. Shimura (Niigata Univ.), M. Yuhara (Fukuoka Univ.), K. Tsukada (Nagoya Univ.), A. Kamei (Shimane Univ.)

はじめに 東南極セール・ロンダーネ山地は $22\sim 28^{\circ}\text{E}$, $71\sim 73^{\circ}\text{S}$ に位置し, 原生代末から古生代初に起きた東西 Gondwana 大陸の衝突帯の中心に位置していた。そのため, この地域における変成作用や火成作用の詳細を明らかにすることは, Gondwana 大陸における深部地殻の形成過程の解明につながる。火成岩類では, これまで南西部に広く分布する変成・変形を受けたトーナル岩と弱一非変形の貫入岩類について, 岩石学・年代学的検討がなされてきた。しかしながら, これらの火成活動と Gondwana 大陸の形成から分裂に至るテクトニクスの関連性については不明な点が多い。そこで, 本報告では, これまで検討されてきたセール・ロンダーネ山地の火成岩類の岩石学的な検討に加えて, テクトニクスと火成活動の対応に焦点をあてて議論する。

地質概要 セール・ロンダーネ山地の地質は, E-W ないし NW-SE 方向の構造が卓越する。それらの方向にほぼ平行な剪断帯 (Main Shear Zone: 以下 MSZ) が分布する (Shiraishi et al. 1997)。MSZ は, セール・ロンダーネ山地の南西部を E-W に伸び, 剪断作用を受けた幅は数 km に達するところもある。

セール・ロンダーネ山地の変成岩類は角閃岩相からグラニュライト相の変成作用を受けている。ジルコンの SHRIMP U-Pb 法による変成年代は 650-550 Ma の間でばらつく (Shiraishi et al., 2008)。火成岩類はバソリス状の変トーナル岩を除くと, 変成岩類と調和的に産する小規模岩体と変形・変成作用後に貫入したストック状の花崗岩体および苦鉄質岩脈に区分される。変形・変成作用を受けた火成岩類のジルコン SHRIMP U-Pb 年代は 1000-900 Ma (トーナル岩) と 650-550 Ma (花崗岩) である (Shiraishi et al., 2008)。一方, 変成作用後に貫入した花崗岩体の Rb-Sr, Sm-Nd 全岩アイソクロン年代は 530-500 Ma である (Tainosho et al., 1992)。また, 苦鉄質岩脈は山地のいたるところでこれら変成岩・深成岩類を貫く。

今回, 原生代トーナル岩の分布域から新たに花崗閃緑のストック状岩体やこの岩体を貫く, 発泡したランプロファイアー岩脈をビーデレーフィエラの南東部か

ら見出した。発泡した苦鉄質岩脈はこの地点だけでなく, セール・ロンダーネ山地南西部の広範囲に分布することも明らかになった。

岩石記載・化学組成の特徴とテクトニクス 南西部に広く分布する原生代トーナル岩体は, 一般に変成・変形作用をこうむっている。岩石化学的特徴は K_2O に乏しくリュツォ・ホルム岩体の原生代変トーナル岩と類似する。また, 微量元素組成や Sr 同位体比初生値の特徴は, 未成熟島弧に産する岩石の組成と共通する。すなわち, 東ドロンイングモードランドの原生代のテクトニクスは沈み込み帯に伴う火成弧で, その後, 大陸が衝突したものと推察される。このトーナル岩に貫入する花崗閃緑岩は, 自形の緑閃石を含み, 中部地殻以深で貫入したことを示す。

苦鉄質岩脈は, 黒色で細粒な玄武岩と暗灰色一灰色のランプロファイアーに区別される。玄武岩岩脈には, しばしば発泡した空隙を方解石が充填している。一方, ランプロファイアーは, 発泡跡をもち黒雲母斑晶を含むものと発泡せずに角閃石や黒雲母斑晶を含むものに区分される。また, 発泡していない岩石の基質部には特徴的に炭酸塩鉱物が含まれる。これらの岩脈は SiO_2 含有量は 47-54wt% で, TAS 図ではアルカリ岩の領域にプロットされる。特に, ランプロファイアーは K_2O に富む (7.0-9.0 wt%)。また, 玄武岩はランプロファイアーより TiO_2 に富む (2.5-3.5 wt%)。

セール・ロンダーネ山地西部に分布する苦鉄質岩脈は, これまで同山地から報告された岩脈と比べて発泡跡を持つ点で異なる。特にランプロファイアーは中部地殻以深に貫入した岩体を貫く。さらに, 玄武岩が TiO_2 に富みランプロファイアーが K_2O や CO_2 に富むことから, これらのマグマ活動はマントルブルームや汚染されたリソスフェア・マントルに由来した可能性が高い。このような産状やマグマの組成から見て, これらの苦鉄質岩脈は大陸分裂に関連した火成作用と推察される。

東南極セール・ロンダーネ山地西部の地質構造概報

東田和弘 (名古屋大), 大和田正明 (山口大), 志村俊昭 (新潟大), 柚原雅樹 (福岡大), 亀井淳志 (島根大)

Outline of the Geological structure in the western Sør Rondane Mountains, East Antarctica

K. Tsukada (Nagoya Univ.), M. Owada (Yamaguchi Univ.), T. Shimura (Niigata Univ.), M. Yuhara (Fukuoka Univ.), A. Kamei (Shimane Univ.)

はじめに 東南極セールロンダーネ山地は東西 Gondwana の衝突境界地域とされており, 原生代末期以降の地球史を考える上で非常に重要な地域である。しかし, セールロンダーネ山地の変形岩に関しては Toyoshima et al. (1995) を除いてまとまった研究はなく, 特に同山地西部の変形岩についてはほとんど未記載である。この地域の歴史, すなわち Gondwana 大陸の形成史をひもとくためには, この地域の変形岩の記載は非常に重要である。

地質概要 調査対象地域は片麻岩類 (ここでは堆積岩起源変形岩と呼ぶ) を主体とする北部と, トーナール岩を主体とする南部とに大別される。両者の境界付近には E-W トレンドの Main Shear Zone (MSZ) が分布するが, MSZ は大局的な岩相境界と斜交する (Osanai et al., 1991)。堆積岩起源変形岩やトーナル岩は, 山地のいたるところで花崗岩類に貫入され, また苦鉄質岩脈がこれらを貫く。

変形岩の記載 本地域の岩石は, 種々の程度で変形している。以下に変形岩の記載を簡単に行う。

(1) 延性変形岩: 延性変形した岩石は調査地域の北部 (Main Shear Zone より北) に広く分布し, 南部 (Main Shear Zone より南) でも一部でトーナル岩や花崗岩がマイロナイト化している。北部に露出する岩石には, 一般に東西走向・南傾斜の構造性面構造が発達し, 面上には鉱物線構造や伸張線構造がよく見られる。変形岩の面構造は雲母鉱物の定向配列によって規定され, 特に堆積岩起源の変形岩は, 面に沿って剥離性を有する。変形岩には一般に種々の非対称構造 (σ タイプ・ δ タイプ非対称構造や S-C-C' 構造, 非対称褶曲, インブリケーションなど) が認められ, 運動センスの判定が可能である。北部ではしばしば, 堆積岩起源の変形岩に小一中規模 (半波長数 m 以下) の南北軸を持つ非対称褶曲が認められる。非対称褶曲の示す運動センスと微細変形構造の示す運動センスは調和的であり, 面構造と褶曲はほぼ同時期に形成されたと思われる。堆積岩起源の変形岩にはしばしば花崗岩類が貫入し, 花崗岩類からは片理に平行に無数の脈が派生している。このような脈はしばしば堆積岩起源の変形岩とともに縞状構造を形成する。さらに, 花崗岩類は周囲の堆積岩起源の変形岩とともに褶曲し, 花崗

岩類中では有色鉱物が褶曲軸と平行に配列する。これらの花崗岩は一部でマイロナイト化し, またところによっては花崗岩類が著しく伸張変形し, ラミナ様構造を形成する。このような堆積岩起源の変形岩や初期の花崗岩を, より後期の花崗岩類が貫入する。後期の花崗岩類の一部はさらにマイロナイト化し, 褶曲している。より後期のマイロナイトに見られる構造性面構造は, 初期の面構造と同様に, 東西走向・南傾斜である。

(2) 脆性変形岩: 上記の延性変形岩や調査地域南部のトーナル岩は, 一部で脆性変形し, カタクレーサイトを形成している。カニの爪では幅約 20 m にわたり東西走向低角南傾斜の脆性変形帯が見られる。ここではマイロナイト化した花崗岩が脆性変形し, 葉片状カタクレーサイトや無構造カタクレーサイトを形成する。葉片状カタクレーサイトには P-Y-R1 構造がよく発達し, しばしば破碎細粒粒子よりなる黒色脈が挟まれる。ここではカタクレーサイトは堆積岩起源の変形岩と花崗岩起源マイロナイトを境し, 後者が前者に衝上する。その他の地域の脆性変形岩に見られる非対称構造も, すべて衝上センスを示す。

各地域の変形・貫入の履歴 各地域の延性変形岩の初期の運動像によると, 本地域の変形岩は大まかに以下の 2 つのタイプに分類される。

1. 正断層鉛直運動成分の卓越する地域 (ニルスラルセン, オットーボルググレブニング, ユキドリ砦, ジェニングス)
2. 右ずれ水平運動成分の卓越する地域 (ケテレスーエリス氷河)

両者は, 少なくとも平面的には, 漸移的に移り変わるのではなく, エリス氷河とジェニングス氷河の間でおおきなギャップがあるように見られる。また岩相的にも, 前者は小褶曲とともに波長の大きな褶曲が発達するのに対し, 後者では小褶曲は随所に見られるものの, マップスケールあるいは大露頭スケールの褶曲はあまり発達しない。このギャップのテクトニクス上の意義について, 現時点ではまだ明快な結論を出すことはできないが, 今後, セールロンダーネ山地の構造区分を行う上で, 重要な意味を持つ可能性がある。

東南極セール・ロンダーネ山地に分布するトーンアル岩質岩石の岩石学的特徴

亀井淳志(島根大), 柚原雅樹(福岡大), 大和田正明(山口大),
志村俊昭(新潟大), 東田和弘(名古屋大)

Petrology of tonalitic rocks in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Kamei A. (Shimane Univ.), Yuhara M. (Fukuoka Univ.), Owada M. (Yamaguchi Univ.),
Shimura T. (Niigata Univ.) and Tsukada K. (Nagoya Univ.)

東南極セール・ロンダーネ山地は、東-西 Gondwana 大陸の境界部に位置し (e.g. Jacobs et al., 1998), 角閃岩相からグラニュライト相の高度変成岩類および火成岩類で構成される (e.g. Asami et al., 1991; Shiraishi et al., 1992; Ishizuka et al., 1993; Osanai et al., 1996)。このうち、火成岩類はその岩相と年代値をもとに大きく2つに分けられる (Kojima and Shiraishi, 1986; Takahashi et al., 1990; Tainosho et al., 1992)。一つは、原生代の年代値 (956Ma) を有し、当山地の南西部にバソリス状岩体として広く分布する変トーンアル岩 (ニルスラルセン岩体)。もう一つは、古生代初期の年代値 (530~450Ma) を有し、当山地の全域にストック状岩体もしくは岩脈として散在する深成岩類である。これらの火成活動は Gondwana 大陸が経験した Grenville 期 (約 1000Ma) および Pan-African 期 (約 500Ma) のテクトニックイベントで引き起こされたとされている。

本研究対象は、上述した変トーンアル岩 (ニルスラルセン岩体) である。この岩体に関しては Sakiyama et al. (1988), Takahashi et al. (1990), Shiraishi et al. (1992), Tainosho et al. (1993), Osanai et al. (1996), Ikeda and Shiraishi (1998) などの日本南極地域観測隊の調査結果をもとにした数多くの先駆的研究がある。これらの研究による重要な成果は、以下のように列挙できる。①ニルスラルセン岩体は主に片麻状トーンアル岩で構成される。②捕獲岩が広い範囲で数多く確認できる。③Rb-Sr 全岩年代は 956 ± 39 Ma を示す。④岩体を構成する岩石の SiO_2 含有量は 45~76wt% の広い組成範囲を示す。⑤変トーンアル岩の岩石化学組成は始生代の Tonalite-Trondhjemite-Granodiorite (TTG) に類似する。

本研究ではこれらの成果をさらに発展させ、ニルスラルセン岩体の記載的特徴と成因を明らかにすることを目的とした。調査は東西約 60km・南北約 10km の広い範囲におよぶ。そのため、採取した試料の検討を東からルンケリッゲン、ワルヌム、ビーデレー、およびニルスラルセンの4地域に区分して進めることとした。野外調査の結果、変トーンアル岩の露頭は比較的塊状で片麻状組織の弱い岩相と、数多くのシュリーレンを伴

い片麻状組織の強い岩相の2タイプに分けられた。それぞれの分布をみると、ルンケリッゲンおよびワルヌムでは1箇所を除いて塊状タイプであり、ビーデレーでは全てシュリーレンを含むタイプであった。ニルスラルセンでは両者が混在する。

一方、既存研究より岩石化学組成をコンパイルすると、Sr/Y vs Y 図で TTG やアダカイトの特徴を有する岩石はルンケリッゲンのみに産することが示された。これはニルスラルセン岩体が単一の TTG バソリスでない可能性を示唆する。したがって、4つの地域から採取された岩石は、それぞれの記載岩石学的な違いを上述の岩相の違いともあわせて検討していくことが必要となる。また近年では、TTG やアダカイトの成因について、従来のスラブ融解説とは異なる、地殻融解説 (Atherton and Petford, 1993), 塩基性マグマの結晶分化説 (Macpherson et al., 2006), アダカイト質岩石の再融解説 (Kamei et al., 2009) などの諸説が提案されている。このことから、TTG の特徴を示すルンケリッゲンの岩石がどのような成因に由来するのかを解明しなければならない。さらに、Sr・Y の両元素で TTG 組成を有しない他の地域の岩石についても、ルンケリッゲンの岩石と比較しつつ成因を解明していく必要がある。

また上述のシュリーレンについては、片状組織を有する緑色片岩として捕獲されたものがワルヌムの一部に見られたものの、その他の地域では急冷周縁相や捕獲結晶を有するものであった。このことから、これらはトーンアル岩マグマに捕獲された暗色包有岩が変成・変形作用で引き伸ばされたものである可能性が高い。スラブメルトに由来する TTG やアダカイトには、高 Sr 玄武岩や高 Nb 玄武岩が伴われることがある (Sajona et al., 1994; Tsuchiya et al., 2005)。したがって、シュリーレンの記載的・岩石化学的な解析は変トーンアル岩の火成活動を考察する上で重要となるだろう。

本報告では、ニルスラルセン岩体の野外調査結果と今後の研究方針を示す。また、TTG 組成を有するルンケリッゲン地域から採取した岩石を中心に、顕微鏡記載・岩石化学分析の結果を報告する。

東南極セール・ロンダーネ山地で見いだされたビーデレー花崗閃緑岩の地球化学的特徴

柚原雅樹 (福岡大), 亀井淳志 (島根大), 大和田正明 (山口大), 志村俊昭 (新潟大), 東田和弘 (名古屋大)

Geochemical characteristics of the Widerøe Granodiorite found in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

M. Yuhara (Fukuoka Univ.), A. Kamei (Shimane Univ.), M. Owada (Yamaguchi Univ.), T. Shimura (Niigata Univ.) and K. Tsukada (Nagoya Univ.)

東南極セール・ロンダーネ山地は、東-西 Gondwana 大陸の衝突域に位置し、角閃岩相からグラニュライト相の高度変成岩類とそれらに貫入する火成岩類から構成される (Shiraishi et al., 1997)。セール・ロンダーネ山地西部地域では、北部に堆積岩や火成岩を原岩とする変成岩類が、南部にバソリス状の変トータル岩が分布する。火成岩類は、変成岩類と調和的に産する小規模岩体と変成作用後に貫入したストック状岩体からなる。変トータル岩は 956Ma の、ストック状岩体は 530-500Ma の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代を示す (Takahashi et al., 1990; Tainosho et al., 1992)。これらの火成岩の成因および火成活動の時空分布の把握は、大陸-大陸衝突域におけるマグマ生成場および生成過程の変遷の解明につながる。しかしながら、各岩体における岩相や化学組成の変化の詳細な検討は少なく、Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が得られていない岩体も多い。JARE-50 地学調査隊は、それらの岩体の再調査と試料採取を行う過程で、変トータル岩に貫入するストック状火成岩体を新たに見だし、他の岩体とは異なる化学的特徴を有することから、ビーデレー花崗閃緑岩と名付けた (柚原ほか, 2009)。本報告では、本岩体の化学組成の特徴を中心に報告する。

ビーデレー花崗閃緑岩体は、ビーデレー山東端、グンネスタ氷河上流部に南北 1.2km にわたり露出している。この露出規模は、同地域に分布するベンゲン花崗岩と同程度である。本岩体は、多量の苦鉄質包有岩を包有する黒雲母変トータル岩の面構造を切って貫入し、中粒の黒雲母花崗閃緑岩からなる。細粒の両雲母花崗岩に貫入され、両岩はさらに苦鉄質岩脈に貫入される。苦鉄質岩脈は N42°E, 30°SE の断層にほぼ平行に貫入している。花崗閃緑岩には、黒雲母の定向配列による E-W 走向で南ないし北に 38°-64°傾斜する弱い面構造が認められる。両雲母花崗岩には、貫入方向 (N52°E, 68°NW) に平行な面構造が認められる。岩体周縁部で細粒化する傾向が認められる。これは、貫入時に形成された周

縁相である可能性が高い。

中粒黒雲母花崗閃緑岩は、鏡下では半自形粒状組織を示し、主として斜長石、石英、カリ長石、黒雲母からなり、副成分鉱物として、緑れん石、燐灰石、ジルコン、不透明鉱物を含む。緑れん石は自形性が強く、弱い累帯構造を示すものも認められる。したがって、緑れん石はマグマ起源である可能性が高い。斜長石の一部は、細粒のゾイサイトと白雲母を包有している。断層に近い試料を除き、石英の細粒化が多少認められるものの、変形の程度は低い。両雲母花崗岩の斜長石にも細粒のゾイサイトと白雲母が包有される。したがって、これらの岩石は変形作用を伴わない変成作用を受けた可能性が高い。このことは、ビーデレー岩体の活動時期が他のストック状岩体よりも古いことを示唆する。

中粒黒雲母花崗閃緑岩の SiO₂ 含有量は 68.8-71.0wt%, 貫入する細粒両雲母花崗岩は 74.2wt% で、TAS 図では、他のストック状岩体の構成岩石の多くがアルカリ岩領域にプロットされる (Tainosho et al., 1992; Li et al., 2003) のに対して、非アルカリ岩領域にプロットされる。Pearce et al. (1984) の判別図では、ともに Volcanic-arc granite の領域にプロットされる。Sr/Y-Y 図では、両者はアダカイト領域にプロットされる。細粒両雲母花崗岩は、ハーカー図において中粒黒雲母花崗閃緑岩の変化傾向の延長上にプロットされることから、中粒黒雲母花崗閃緑岩の分化物である可能性が高い。

ビーデレー岩体の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代は、Rb/Sr 比のバリエーションが小さいために誤差が大きくなり検出が必要ではあるが、940Ma 前後を示す。この結果は、産状と岩石記載からの推定と調和的である。したがって、本岩体は変トータル岩とともに、東-西 Gondwana 大陸の衝突以前の火成活動を検討するのに重要な火成岩体であるといえる。

東南極セール・ロンダーネ山地、小指尾根の コランダム-スピネル含有スカルン

志村俊昭（新潟大）、亀井淳志（島根大）、東田和弘（名古屋大）、
大和田正明（山口大）、柚原雅樹（福岡大）

Corundum-spinel bearing skarn from the Koyubi-ridge, Sør Rondane Mountains, East Antarctica

T. Shimura (Niigata Univ.), A. Kamei (Shimane Univ.), K. Tsukada (Nagoya Univ.),
M. Owada (Yamaguchi Univ.), and M. Yuhara (Fukuoka Univ.)

東南極セール・ロンダーネ山地は、角閃岩相—グラ
ニユライト相の高温変成岩類とそれらに貫入する火成
岩類から構成されている（Shiraishi et al., 1997）。特に北
東テレーンからは超高温変成作用の証拠も見いだされ
ている。これらの変成作用・火成作用は、東-西ゴンド
ワナ大陸の衝突イベントに関連して起きたと考えられ
ている（Jacobs et al., 2008, Shiraishi et al., 2008）。

「小指尾根」はセールロンダーネ山地中央部にあた
り、北東テレーンに属している。小指尾根周辺はグラ
ニユライト相の変成作用を被っている。

第50次南極地域観測隊セール・ロンダーネ山地地学
調査隊が、2009年1月に小指尾根を調査した際に、従
来報告されていなかった大理石の岩体を発見すると
もに、その縁辺部にコランダム（サファイア）を含む
スカルンを発見した。このスカルンの産状について報
告する。

発見地点（S71°54.381', E24°13.197'）は小指尾根
の西側斜面にあたり、小指尾根の主尾根から枝分かれ

した小さな尾根上である。数十メートル規模の大理石
のレンズ状岩体がおおよそ N80E、60S の走向傾斜で分
布しており、その下位側に数 m—十数 m 規模のスカル
ン帯が帯状に分布している。大理石の上位側は角閃石
黒雲母片麻岩と直接接しており、間にスカルン帯はみ
られない。

大理石の下位側のスカルン帯は、転石と露岩が混在
した状況となっているが、露岩の岩相分布と転石の岩
相分布傾向はほぼ一致しているので、凍結融解などで
露頭が破壊されただけで、転石は露頭の位置から大き
くは移動していないようにみえる。

大理石から下方に向かって、岩相は以下の順に配列
している。

- (1) 大理石
- (2) スピネル含有スカルン
- (3) コランダム（サファイア）含有スカルン
- (4) 石灰珪質片麻岩
- (5) 珪長質片麻岩（花崗岩質岩）

(6) 黒雲母片麻岩

なお (2) と (3) は混在していることがある。

大理石は、ほぼすべて方解石からなり、白色で均質塊状の岩相を示す。ごく一部にトロマイトを含む薄層が見られ、この薄層が岩体全体の形状と調和的な面を形成している。

スピネル含有スカルンは、5mm～1cm の自形 (立方体) のスピネルを多数含む。スピネルは濃紺色～紫色を呈し、リュッツホルム岩体のスカレビックハルセンやスカーレンにみられるスピネル含有スカルンと良く似ている。スピネル以外には方解石、トロマイト、ブルーサイト、マグネシアンイルメナイト、ルチルを含む。1～3cm サイズの黒色スピネルが濃集し (モードで 90% 以上) 粒間をフロゴバイトが充填した特殊な岩相も見られる。この岩相では、スピネルの内部に微小なコランダムを含むことがある。

コランダム含有スカルンは、1mm～1cm サイズの自形～他形のコランダムを多数含み、コランダムがモードで 20%～30% 濃集したドメインを形成することもある。コランダムはコアで青色、リムで水色～白色を示す。コランダム以外には方解石、フロゴバイト、スピネル、ルチルを含む。

コランダムやスピネルを含有するスカルンは、 SiO_2

に枯渇した環境での元素移動 (流体移動) 変成作用・交代作用により形成されたとと思われる。小指尾根周辺はグラニュライト相の変成作用を被っており、最高変成度時には岩石の部分融解も起きていたと思われる。大理石層の片側にだけスカルン帯が形成されているのは奇妙である。スカルン周辺の岩相のうち、前述の「(5) 珪長質片麻岩」は、周辺の変成岩起源の部分融解メルトがみられず、これがスカルンの形成に関わっていたのかもしれない。今後、スカルン帯を構成する鉱物共生や化学組成から、流体移動の過程や変成作用の解析が出来ると期待される。

セールロンダーネ山地アウストカンパーネに産する泥質片麻岩中の 十字石、スピネル、斜方角閃石の産状とそこから制約される変成プロセス

外田智千 (極地研)、足立達朗 (総研大)、小山内康人 (九州大)、
中野伸彦 (九州大)、豊島剛志 (新潟大)、馬場壮太郎 (琉球大)

Staurolite, spinel and orthoamphibole in pelitic gneiss, and their implications for the metamorphic processes at Austkampane, Sør Rondane Mountains

T. Hokada (NIPR), T. Adachi (Sokendai/NIPR), Y. Osanai (Kyusyu Univ.),
N. Nakano (Kyusyu Univ.), T. Toyoshima (Niigata Univ.), S. Baba (Univ. Ryukyus)

セールロンダーネ山地アウストカンパーネ地域には珪長質の片麻岩類が卓越し、中性～苦鉄質岩ならびに泥質片麻岩類や大理石・石灰珪質岩等が挟在される。また、それら片麻岩類の構造に調和的にあるいは斜交して優白質岩脈群が貫入する。

アウストカンパーネから隣接するブラットニーパネにかけての地域ではグラニュライト相のピーク変成条件とその後の角閃岩相での加水作用が示唆され (例えば Osanai et al., 2008, Adachi et al., 2008 - 地質学会講演要旨)、またそれら一連の変成作用の時期は 650-600Ma と考えられている (Shiraishi et al., 2008, Geol. Soc. London, Spec. Publ., 308)。

最近の研究によれば、ブラットニーパネ地域に産する変成岩類の解析からは反時計回りの温度圧力履歴を示唆する鉱物反応組織が見いだされている (Owada et al., 2008 - 鉱物科学会講演要旨, Baba et al., 2008 - 地質学会講演要旨)。一方の、本研究で対象とするアウストカンパーネ地域に産するザクロ石-珪線石-堇青石/斜方角閃石-黒雲母片麻岩からは、ブラットニーパネ地域で見いだされた反時計回りと調和しない異なる温度圧力履歴を示唆する鉱物組織が見いだされるので、その特徴を以下に詳述する。

(1) ザクロ石斑状変晶中の包有物として石英、珪線石、黒雲母などとともにスピネル ($Mg/(Mg+Fe)=0.2\sim0.5$, $ZnO=5\sim24wt\%$) が多数認められる。こうした Zn を含むスピネルは一般に十字石の分解によって形成さ

れると考えられる。また、ザクロ石中に十字石 ($ZnO=1wt\%$) の残存包有物も見いだされることから、こうした組織は十字石=ザクロ石+スピネル+珪線石+石英+ H_2O の反応を示すと考えられる。

(2) ザクロ石や珪線石はしばしば堇青石に周囲を取り囲まれる。これは、ザクロ石+珪線石+石英=堇青石の反応を示す。

(3) 斜方角閃石中の Al_2O_3 はしばしば 4-5wt% (コア) から 1-2wt% (リム) の組成累帯構造を示す。稀に Al_2O_3 を 8~14wt% 含有する残存コアが見いだされることがある。また斜方角閃石のリム部は堇青石をしばしば伴う。こうした斜方角閃石の組成変化は定性的には以下の反応で示される: Al に富む斜方角閃石 (gedritic) = Al に乏しい斜方角閃石 (anthophyllitic) + 堇青石 + H_2O 。

上記の (1) の反応は珪線石安定条件下 (0.3~0.7GPa 程度) での温度上昇に対応し、(2) と (3) の反応は角閃岩相高温部からグラニュライト相条件下 (>750-650°C) での圧力低下に対応する。すなわち、(1) → (2) → (3) のプロセスは時計回りの温度-圧力経路を示唆する。また、モナザイトの U-Th-Pb 年代からは、これら一連の変成プロセスが 650-600Ma の時期に完了したことが示唆される。

以上のことは、セールロンダーネ山地内の隣接する地域で、ほぼ同時期に時計回りと反時計回りの異なる温度圧力履歴の変成プロセスが進行した可能性を示している。

大隅石の成因が語るナピア超高温変成作用のテクトニクス 石塚英男 (高知大)・曾山祐貴 (阿波市立阿波中学)

Origin of osumilite and its implication for tectonics of the Napier ultrahigh temperature metamorphism

H. Ishizuka (Kochi Univ.) & Y. Soyama (Awa Junior High School)

東南極エンダーランドに分布するナピア岩体は、大隅石、転移したピジョン輝石、サフィリン+石英、スピネル+石英、及び斜方輝石+珪線石+石英などの鉱物や鉱物組合せの産出で特徴づけられる超高温変成作用を約 25 億年前に受けた岩体である。原岩年代は、珪長質片麻岩中に産出する火成累帯構造や火成起源の Th/U 比を有するジルコンの SHRIMP あるいは SIMS による U-Pb 年代から、 ~ 38 、 $32.8\text{--}32.3$ 、 ~ 30 、及び $26.8\text{--}26.3$ 億年前が報告されている。このように、太古代の火成-変成活動史を記憶しているナピア岩体の研究は、初期地球地殻の形成から進化のプロセスを明らかにする上で極めて重要である。今回、我々は大隅石の成因から、ナピア超高温変成作用の温度-圧力経路の解明を行い、そのことからテクトニクスを考察したので、以下に報告する。

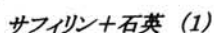
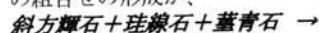
本研究で検討した試料は、ナピア岩体の最高温度域であるリーセルラルセン山地域から 38 次隊により採取されたもので、リーセルラルセン主剪断帯 (RLMSZ) の東側から 10 試料 (泥質片麻岩=8、珪長質片麻岩=2)、西側から 1 試料 (泥質片麻岩)、転石 3 試料 (泥質片麻岩=1、珪長質片麻岩=2) の計 14 試料である。まず、大隅石の成因を考察する上で、次の産状および組織に注目し、それらの意味するところの解釈を試みた。

①: 大隅石に包有された藍晶石+斜方輝石

本組織は RLMSZ の東側から採取された泥質片麻岩 [鉱物組合せ: 大隅石+サフィリン+ざくろ石+斜方輝石 ($\text{Al}_2\text{O}_3=9.4\text{--}14.9$ wt%) + 珪線石+カリ長石+スピネル+石英] の石英に囲まれた粗粒な大隅石中にレーザーラマン分光器の使用で認められたもので、 ~ 30 μm の藍晶石と斜方輝石 ($\text{Al}_2\text{O}_3=5.1\text{--}7.5$ wt%) からなる。同大隅石には他に以下のシンプレクタイト包有物が産出する: 藍晶石+斜方輝石、藍晶石+斜方輝石+石英、堇青石+石英。この組織は、ナピア超高温変成作用の最初の条件が藍晶石安定領域であったことを示すもので、斜方輝石のアルミナ含有量などから、 $800\text{--}900$ $^{\circ}\text{C}$ で 12 kbar 前後の条件が推定される。

②: サフィリンに包有された珪線石

本組織は転石の泥質片麻岩に認められたもので、堇青石と斜方輝石も共存する。この組織はサフィリン+石英の組合せの形成が、



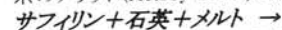
の反応に関連していることを示唆している。

③: サフィリンとその周囲にフィルム状に産出する堇青石やざくろ石を取り囲むようにして産出する大隅石

本組織は RLMSZ の東側の試料で認められ、フィルム状の堇青石やざくろ石はこの地域で認められるサフィリン+石英の後退変成反応に伴う反応組織と類似する。本試料にはサフィリン+石英が直接に接していることはないが、石英は存在する。このことから、大隅石はサフィリン+石英の安定領域を過ぎた後に形成されたと考えられる。

④: サフィリンやざくろ石をパッチ状に取り囲む大隅石とカリ長石や石英中に自形を呈して産出する大隅石、およびこれらの大隅石に包有される自形のざくろ石

前者の組織は泥質片麻岩、後者の組織は珪長質片麻岩に認められる。これらの組織から、大隅石は珪長質メルトから晶出したことが推測され、メルトを含む FKMASH 系のグリッド (Kelsey et al., 2004, 2005) を考慮すると、



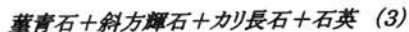
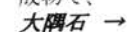
あるいは



の反応で形成されることが考えられる。メルトから晶出する大隅石という解釈は、同鉱物の巨晶 (径は 1.0 cm 前後) が稀にざくろ石や斜方輝石の粒間を埋めるように形成されていることも調和的である。

⑤: 大隅石の周縁部に形成される堇青石+斜方輝石+カリ長石+石英のシンプレクタイト

本組織は泥質および珪長質片麻岩に広く認められ、このシンプレクタイトは大隅石の後退変成作用による分解生成物で、



の反応によるものであろう。

以上の組織および産状の記載と解釈から、少なくともリーセルラルセン山地域の RLMSZ より東側の地域は、昇温期に藍晶石安定領域から時計回りに斜方輝石+珪線石+堇青石 \rightarrow サフィリン+石英、あるいは、黒雲母やカリ長石の分解に関連したサフィリン+石英+メルトの安定なピーク期の超高温条件に到達し、降温期にメルトから大隅石が晶出し、更なる降温期で大隅石が分解した、という変成温度・圧力履歴が推測される。そして、この温度・圧力履歴が要求するテクトニクスとして、初期の大陸地殻同士の衝突、あるいは大陸-海洋地殻の沈み込みによる藍晶石安定領域の通過、引き続きマントル・アセノスフェアの貫入による超高温条件の獲得、そして、現在位置への上昇に伴う大隅石の分解、ということを考えてみた。もちろん、このテクトニクスのいくつかの部分は先人たちが既に考えたことに負うものである。

Chemostratigraphy of marbles from East Gondwana: Constraints on the whereabouts of the Mozambique Ocean

M. Satish-Kumar (Shizuoka Univ. Japan), T. Miyamoto (Kyushu Univ. Japan), J. Hermann (ANU, Australia), B. Windley (Leicester Univ. UK), G. Grantham (Council for Geoscience, South Africa), D. Dunkley (NIPR, Japan), Y. Osanai (Kyushu Univ. Japan), Y. Motoyoshi (NIPR, Japan), Y. Hiroi (Chiba University), K. Shiraishi (NIPR, Japan) and H. Wada (Shizuoka Univ. Japan)

Extensive metasedimentary supracrustal sequences exposed in the crustal fragments of the East Gondwana supercontinent, especially in East Antarctica, Sri Lanka, peninsular India, Madagascar and Mozambique, provide us with an opportunity to understand the geodynamic evolution of supercontinent assembly and breakup, as well as to extract key information on the depositional environments of paleo-oceans that separated the proto-continents. The closure of the Neoproterozoic “Mozambique Ocean” (Stern, 1994) is considered to be a consequence of supercontinental assembly of East Gondwana and West Gondwana during a protracted Pan-African Orogeny that spatially extended from the Arabian-Nubian Shield to the East Antarctic shield, through East Africa, Madagascar, peninsular India and Sri Lanka. The difficulty in constraining the characteristics of the “Mozambique Ocean” is mainly due to the high-grade metamorphism and tectonic reworking of the sediments during the regional Pan-African Orogeny. However, metacarbonate rocks potentially provide

valuable information on the paleo-ocean geochemistry and depositional environments (Melezhik, et al., 2008).

Here we present a comprehensive geochemical/isotopic evaluation of metacarbonate rocks from East Antarctica, Sri Lanka, peninsular India, Madagascar and Mozambique to constrain the age of deposition of carbonate in the Mozambique Ocean. An extensive data set of C, O and Sr isotope geochemistry of the high-grade metamorphosed dolomitic and calcitic marbles shows that most underwent post-depositional geochemical alteration. In particular, Sr and O isotope alterations are extensive, with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(550\text{Ma})}$ ratios as high as 0.758 and $\delta^{18}\text{O}$ values as low as -5‰. For this evaluation we carefully screened out samples affected by diagenetic and metamorphic alterations based on the carbon, oxygen and strontium isotope results in comparison with reported geochemical parameters of non-metamorphic Meso- to Neo-proterozoic carbonate sediments (e.g. Halverson et al., 2005, Melezhik et al., 2008).

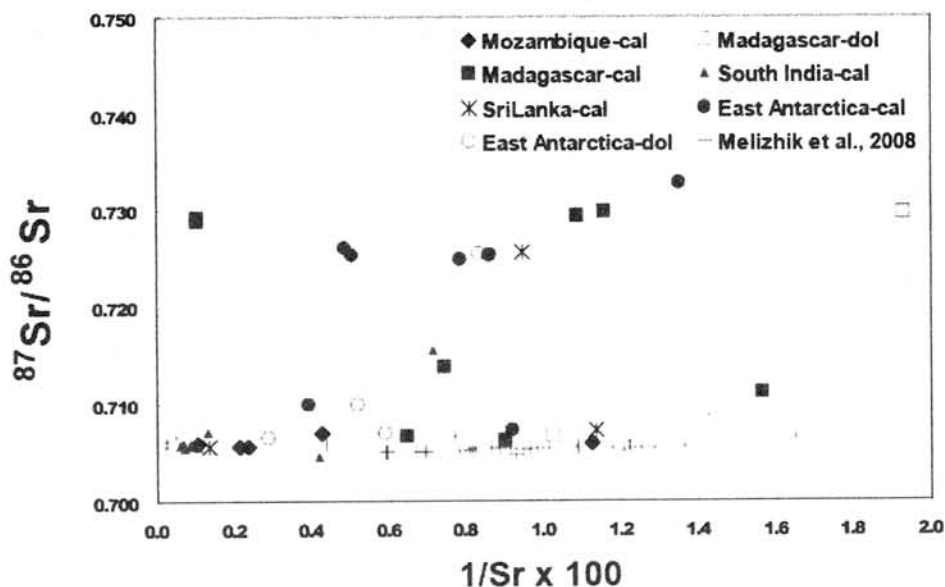


Figure 1 Strontium concentration versus isotope diagram of marbles from East Gondwana. The lower strontium isotope ratios of marbles are supposed to have preserved the sedimentary signatures of the carbonate rocks, which helped in constraining a minimum age of deposition.

Some of the metacarbonate layers preserve pre-metamorphic geochemical characteristics, such as low Sr isotope ratios, high $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values and well-equilibrated, unaltered trace and rare earth element patterns (Satish-Kumar et al., 2008). Consistently low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(550\text{Ma})}$ ratios of 0.705 with high carbon and oxygen isotopic compositions suggest an apparent age of deposition in the Neoproterozoic (~700-850 Ma), with rare exceptions of 0.704 that indicate a Mesoproterozoic age. These apparent depositional ages are consistent with ages obtained from detrital zircons in metapelitic rocks associated with the metacarbonates (Shiraishi et al., 2008). Our study thus provides important constraints on the age of carbonate

deposition in the “Mozambique Ocean” that separated East and West Gondwana.

References

- Halverson, G. P. et al., (2005) Geological Society of America Bulletin, 117, 1181-1207.
- Melezhik, V. A. et al., (2008) Precambrian Research, 162, 540-558.
- Satish-Kumar, M. et al., (2008) GSL special Publication 308, 147-164.
- Stern, R. (1994) Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 22, 319-351.
- Shiraishi, K. et al., (2008) GSL special Publication 308, 21-67.

東南極リュツォ・ホルム岩体スカレピークスハルセンに産するザクロ石 珪線石片麻岩の CHIME モナズ石年代

河上哲生(京都大)*, 外田智千(極地研)

CHIME monazite dating of the Grt-Sil gneiss from Lützow-Holm Complex at Skallevikshalsen, East Antarctica

Tetsuo Kawakami (Kyoto Univ.)*, Tomokazu Hokada (NIPR)

東南極リュツォ・ホルム岩体スカレピークスハルセンに産するザクロ石珪線石片麻岩は、5mmを超えるザクロ石を多数含む。このザクロ石中には、変成鉱物(藍晶石、珪線石など)が多数包有され、温度圧力履歴を制約するのに有用な試料である(Kawakami & Motoyoshi, 2004)。しかし、ザクロ石の主要元素による組成累帯構造は、多角形の形状を示さず拡散により改変されている。そのため、主要元素による組成累帯構造を等時面として用いることが出来ない。

リンによる組成累帯構造を Hiroi et al. (1997) にならって調べると、不規則な形状ながらリンに乏しいコア(WDSによる検出限界以下)とリンに富むリム(312 ± 232 ppm (1 σ))の境界が明瞭に認識できる。リンに富むリムは、元素マッピングにより、リム内でリンの濃度変化が観察できる(図 1)。ザクロ石中のリンの拡散は遅いと考えられるから、リンの組成累帯構造によって認識できるコア・リム境界はザクロ石成長時の等時面を表すだろう。その形状が不規則であることから、ザクロ石の単調成長によって境界が形成された可能性は低く、かつ、包有されるアルミノシリケートの違いがコア・リムの形成圧力差を示唆することから、リンによって定義されるコア・リム境界はザクロ石の融食・再成長境界を表すと考えられる(河上・外田, 2006)。Ca による累帯構造はリンによる累帯構造と部分的に非調和である。このことは主要元素の中でも拡散が遅いCaでさえ、ザクロ石の融食・再成長の後に、組成累帯構造が改変されたことを示す。

上述のようなリンの累帯構造は、包有されるリン酸塩鉱物の種類と対応関係が見られる。すなわち、リンに乏しいザクロ石コアには磷灰石+モナズ石が包有されるが、リンに富むリムにはモナズ石のみが包有される。リムのモナズ石はコアの

モナズ石に比べ明らかに粗粒であるので、コア形成時に安定であったモナズ石(や磷灰石)を消費して、リム形成時にモナズ石が成長した可能性がある。



▲図 1 ザクロ石のリンによるマッピング画像。左の暗い部分がコア、右の明るい部分がリム。左のコアにはリンに富む島状部分が存在。

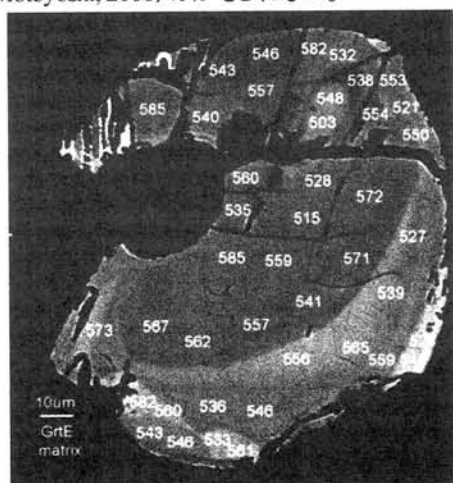
こうしたモナズ石の消長の有無を検証するため、ザクロ石に包有されるモナズ石の CHIME 年代測定(Hokada & Motoyoshi, 2006)を実施した。CHIME モナズ石年代は、2 試料(TK2004011804c, d)中の 4 粒のザクロ石に包有されるモナズ石 7 粒と、ザクロ石直近のマトリクス中に産するモナズ石 3 粒について測定した。その結果、590-520Ma(± 30 -50Ma)の年代を示すモナズ石が大半であったが、670-570Ma(同)を示すモナズ石もザクロ石リムの包有物として 1 粒見つかった。

これまでリュツォ・ホルム岩体から得られてきた 550-520Ma の SHRIMP ジルコン年代値(Shiraishi et al., 1994; 2003)より有意に古い 650-580Ma 前後の CHIME モナズ石年代値は、スカールン(Grt-Spl gneiss や Grt-Bt gneiss)から報告されている。650-580Ma を示すモナズ石は、560-500Ma を示すモナズ石よりも M-HREE(Sm, Gd, Dy)に富む傾向がある(Hokada & Motoyoshi, 2006)。

今回スカレピークスハルセンから新たに見いだ

された 670-570Ma を示すモナズ石も Sm や Gd、Dy に富む特徴が見られ、形成時にはザクロ石と平衡共存していなかった可能性がある。一方、560-500Ma を示すモナズ石は M-HREE に乏しく、ザクロ石コア・リム両方に包有されるから、ザクロ石と平衡共存していたと考えられ、ザクロ石珪線石片麻岩を作った主たる変成作用は 560-500Ma であり、ザクロ石コアとリムの形成年代差は検知できない。

スカレーンの 650-580Ma を示すモナズ石もスカレビークスハルセンのモナズ石も、古い年代を示す部分は長径 100 μ m 程度の粒径を持つ。従って、560-500Ma 頃の変成作用前から存在したモナズ石のうち、もともと粗粒なもののみ 560-500Ma 頃の変成作用を生き延び、細粒なものはザクロ石リム成長時までの間に、モナズ石成分に不飽和な部分溶融メルト中で溶解してしまった(Hokada & Motoyoshi, 2006) のかもしれない。



▲図2 マトリクス中のモナズ石の CHIME 年代値(Ma)。

スカレビークスハルセンから見いだされた 670-570Ma を示すモナズ石には、560-500Ma の年代を示す明瞭なリムが存在せず、ザクロ石リムの成長時にモナズ石が成長した証拠がない。またコアと比べ、ザクロ石リム・マトリクスのモナズ石は粗粒化する傾向があり、燐灰石もザクロ石リムには包有されない。これを細粒モナズ石と燐灰石がメルトとの反応で消費された結果と解釈すると、ザクロ石リム成長時(含水ソリダス付近の P - T 条件であった可能性が高い)までに、モナズ石が

不安定になった可能性もある。560-500Ma を示すマトリクス中のモナズ石の最外縁部が融食されている(図2)事実は、こうした可能性を支持する。

引用文献

- Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., Ellis, D. J., Shiraishi, K. & Kondo, Y. (1997) The significance of phosphorus zonation in garnet from high grade pelitic rocks: A new indicator of partial melting. In: Ricci, C. A. (ed) *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, Terra Antarctica Publication, Siena, 73-77.
- Hokada, T. & Motoyoshi, Y. (2006) Electron microprobe technique for U-Th-Pb and REE chemistry of monazite, and its implications for pre-, peak- and post-metamorphic events of the Lützow-Holm Complex and the Napier Complex, East Antarctica. *Polar Geoscience*, 19, 118-151.
- 河上哲生 & 外田智千, 2006, 東南極リュツォ・ホルム岩体スカレビークスハルセン産 Grt-Sil gneiss 中の Grt に見られる P の不規則なゾーニングについて. 第 26 回極域地学シンポジウム講演要旨, 24-26.
- Kawakami, T. & Motoyoshi, Y. (2004) Timing of attainment of spinel + quartz coexistence in garnet-sillimanite leucogneiss from Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 99, 311-319.
- Shiraishi, K., Ellis, D.J., Hiroi, Y., Fanning, C.M., Motoyoshi, Y. & Nakai, Y. (1994) Cambrian orogenic belt in East Antarctica and Sri Lanka: Implications for Gondwana Assembly. *Journal of Geology*, 102, 47-65.
- Shiraishi, K., Hokada, T., Fanning C. M., Misawa, K. & Motoyoshi, Y. (2003) Timing of thermal events in the Dronning Maud Land, East Antarctica, *Polar Geoscience*, 16, 76-99.

Keywords: CHIME monazite dating, Lützow-Holm Complex, garnet, phosphorus, REE

*Corresponding author,

t-kawakami@kueps.kyoto-u.ac.jp

Pre-orogenic ages show a composite crust in the Ediacaran East African-Antarctic Orogen at Lützow-Holm Bay (40°E), east Antarctica

D. J. Dunkley¹, K. Shiraishi¹, C. J. Carson², Y. Nogi & Y. Motoyoshi¹

¹National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo, 173-8515, Japan.

²Geoscience Australia, GPO Box 378, Canberra, ACT, 2601, Australia.

The amphibolite to UHT-grade Lützow-Holm Complex (LHC) of east Antarctica lies at the nexus of orogenic belts involved in the multistage assembly of East and West Gondawanian crustal components between 630 and 510 Ma. The complex lies between the 1.0 Ga granulite-grade Rayner Complex to the east and extensive 1.2–1.0 Ga juvenile crust in Dronning Maud Land to the west, both of which have been reworked by Neoproterozoic orogenesis (Shiraishi et al., 2008). These adjacent terranes have led to an interpretation that the LHC is a tectonically reworked part of an extensive 1.0 Ga “circum-Antarctic” orogen that brought together cratons in southern Africa, east Antarctica and the Indian Peninsula during the assembly of Rodinia (e.g. Yoshida, 2007). However, complexities in geochronological data and subglacial aeromagnetic mapping (Golynsky et al., 2007; Nogi, unpublished data) suggest the presence of a crustal composite obscured by Neoproterozoic metamorphism and intense ductile deformation. The N–S trending coast of Lützow-Holm Bay at 40°E provides a traverse through tectonically intercalated paragneisses, marbles and orthogneisses, the origins of which are revealed through a major program of ion microprobe (SHRIMP) dating of detrital and protolithic cores in zircon grains. The data reveals:

- magmatic protoliths to felsic and mafic orthogneisses differ in age from south to north: 2.5 Ga at 69°53'S, 1.85 & 2.1 Ga at 69°38'S, 1.05 Ga from 69°38'S to 69°02'S, and 630 Ma at 69°02'S. Nd T_{DM} model ages from 1.05 Ga and 630 Ma protoliths (Shiraishi et al., 2008) indicate derivation from Mesoproterozoic juvenile crust;
- detrital signatures from psammitic and pelitic gneisses that range from 1.8 to 3.3 Ga, with dominant modes of 2.5, 2.7 Ga from southern samples, and 1.8, 2.0 Ga from northern samples;
- an absence of 1.0 Ga metamorphic or detrital zircon in all samples;
- progressive and episodic metamorphic zircon growth from 630 to 520 Ma in most samples;
- 1.0 Ga arc magmatism and associated metamorphism at Cape Hinode, which lacks high-grade Ediacaran metamorphism, with associated metasediments that combine arc detrital signatures with continental signatures (1.8–3.3 Ga) similar to those in LHB.

From a combination of SHRIMP and Nd T_{DM} model ages, a rough ‘chronostratigraphy’ can be deduced, with sediments deposited on a composite Neoproterozoic to Paleoproterozoic basement unrelated to juvenile

crust developed during late Mesoproterozoic magmatism. The age of sedimentation is poorly constrained, but if it is contemporaneous with widespread calcareous sediments and marbles, Sr, C and O isotopic signatures in the latter suggest Neoproterozoic deposition (Satish-Kumar et al., 2008). Mesoproterozoic orthogneisses share geochemical & isotopic similarities with those in Dronning Maud Land, but the detrital evidence from Cape Hinode contrasts greatly with the simple, Neoproterozoic detrital signatures from that region, so that the Sor Rondane and Cape Hinode Mesoproterozoic magmatism may represent completely unrelated island arcs. Otherwise, evidence for a Rodinian assembly of the LHC is absent. Instead, detrital age populations, especially in the northern part of the bay, are similar to those of Neoproterozoic metasediments in the Kerala Khondalite Belt (KKB) of far southern India (Collins et al., 2007), and in central-southwestern Madagascar (Fitzsimons and Hulscher, 2005). Although unidentified in the LHC, 2.0 Ga magmatic protoliths to charnockite (unpublished SHRIMP ages, Dunkley) are likely to have sourced sediments in both the KKB and the LHC. Such correlations are essential to the concept of Azania, an elongate continent rifted from the proto-African margin of Rodinia around 800–700 Ma. While Collins et al. (2007) suggest that KKB sediments derived from African cratons (e.g. Congo-Tanzania), an alternative derivation is possible, from cratonic crust of unknown extent in East Antarctica. Further correlations with other Antarctic terranes, especially in the Prince Charles Mountains and the Shackleton Range, are likely, indicating an association with a large cratonic core within East Antarctica that may also connect to the Mawsonland craton.

Collins, A.S., Santosh, M., Braun, I. & Clark, C., 2007. Precambrian Research, 155, 125–138.

Fitzsimons, J.C.W. & B. Hulscher, B., 2005. Terra Nova, 17, 224–235.

Golynsky, A. D. et al., 2007. Proceedings of the 10th ISAES, USGS Open-File Report 2007-1047, Short Research Paper 050, 4 p.; doi:10.3133/of2007.srp050

Satish-Kumar, M., Miyamoto, T., Hermann, J., Kagami, H., Osanai, Y. & Motoyoshi, M., 2008. Geodynamic Evolution of East Antarctica, Geological Society Special Publ. 308, 147–164.

Shiraishi, K., Dunkley, D.J., Hokada, T., Fanning, M. C., Kagami, H. & Hamamoto, T., 2008. Geodynamic Evolution of East Antarctica, Geological Society Special Publ. 308, 21–67.

Yoshida, M., 2007. Gondwana Research, 12, 228–241.

インド南部の Gondwana 縫合帯に産する A タイプ花崗岩と片麻岩類のジルコン年代測定

佐藤桂 (東工大)・M. Santosh (高知大)・角替敏昭 (筑波大)・

昆慶明 (産総研)・山本伸次 (東工大)・平田岳史 (京都大)

Zircon age dating of A-type granites and gneisses from the Gondwana suture, southern India

K. Sato (Tokyo Inst. Tech.), M. Santosh (Kochi Univ.), T. Tsunogae (Univ. Tsukuba),

Y. Kon (AIST), S. Yamamoto (Tokyo Inst. Tech.), T. Hirata (Kyoto Univ.)

インド南部地域は、原生代の最末期に存在した Gondwana 超大陸の中央部に位置する。南インドには、超大陸を作る大陸衝突イベントに関連する高度変成作用によって形成したグラニュライトや超高温変成岩類が広く分布する。この広域変成岩体は、概ね東西方向に伸びた二つの剪断帯によって、北側から順に、Palghat-Cauvery Suture Zone (PCSZ), Madurai Block, Achankovil Suture Zone (ACSZ), Kelara Khondalite Belt として区別されている。発表者らのこれまでの記載岩石学的研究や実験岩石学的研究によって、PCSZ の超高温変成岩類が昇温期の高圧変成作用→減圧→超高温変成作用の一連の過程によって形成した事が分かってきた (e.g. Shimp et al., 2006; Tsunogae et al., 2008; Kanazawa et al., 2009; Sato et al., 2009a; 2009b)。最近, Santosh et al. (2009a) は、南インドの広域変成岩体の形成・成長モデルとして、原生代最末期の大陸衝突の直前の数億年間に起こった沈み込み帯を形成するプロセスを提案した。Shimizu et al. (2009) は、ACSZ の北西部から見出したスピネル+石英共生を含む超高温変成岩に含まれる反応組織や化学組成に基づいて、ACSZ と PCSZ が一連の造山運動で形成した剪断帯である可能性を指摘した。Rajesh et al. (2004) は、ACSZ の苦鉄質岩の金雲母の K-Ar 年代から、約 470Ma の ACSZ でのリフト形成の可能性を指摘した。

ACSZ の北西部は、ザクロ石-堇青石含有片麻岩と片麻岩に貫入した A-type 花崗岩シートによって特徴付けられる (Ishii et al., 2006; Santosh et al., 2009b; Shimizu et al., 2009)。本研究では、南インドの地殻の進化過程を明らか

にするため、ACSZ の片麻岩及び花崗岩のジルコン U-Pb 年代測定を行なった。年代測定にはレーザー・アブレーション ICP 質量分析装置が使用された。複数の岩石試料から合計 123 粒のジルコンが磁選・重液分離され、合計 138 ポイントのスポット分析が行われた。分析の結果、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 値の 480-560Ma の顕著な年代ピークと、660-860Ma の不鮮明な年代ピークが得られた。無水系の花崗岩の融点は 1000°C を超えるため (Whitney, 1975), 480-560Ma の年代値は地殻下部の融解による A-type 花崗岩の形成年代を示す。この熱イベントは、ACSZ でのリフト形成 (Rajesh et al., 2004) と関連するかもしれない。一方で、660-860Ma の年代値は Madurai Block や剪断帯を形成する一連の造山運動のタイミングに関連するかもしれない。

引用文献

- Ishii et al. (2006) *Gondwana Res.*, 10, 99-114.
- Kanazawa et al. (2009) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 157, 95-110.
- Rajesh et al. (2004) *Gondwana Res.*, 7, 961-974.
- Santosh et al. (2009a) *Gondwana Res.*, 16, 321-341.
- Santosh et al. (2009b) *Island Arc*, 18, 248-265.
- Sato et al. (2009a) *Jour. Geodynamics.*, 47, 107-118.
- Sato et al. (2009b) *Am. Mineral.* (in press).
- Shimizu et al. (2009) *Jour. Asian Earth Sci.*, 36, 209-222.
- Shimp et al. (2006) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 242, 111-129.
- Tsunogae et al. (2008) *Jour. Asian Earth Sci.*, 33, 395-413.
- Whitney (1975) *Jour. Geol.*, 83, 1-31.

Pb LOSS IN ZIRCONS OF GRANITOIDS FROM THE NTEM COMPLEX: QUESTIONING THE POST-CHARNOCKITE MIGMATIZATION.

Talla Takam¹, Makoto Arima¹, Daniel Dunkley².

¹Geological Institute, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Yokohama 240-8501, Japan.

E-mail: tallafrancis@yahoo.com

²NIPR 10-3, Midoricho, Tachikawa, Tokyo 190-8518, Japan.

Abstract

The Ntem Complex constitutes the north-western extension of the Congo craton in southern Cameroon. It is bounded by major thrusts that separate the Palaeoproterozoic Nyong Unit in the northwest and the Pan-African Yaounde Group in the north. The Ntem Complex is made up of two main series. The Intrusive Series dominantly composed of the tonalitic suite and the charnockitic suite all of TTG (tonalite, trondhjemite, and granodiorite) composition, and the Banded Series composed of granulitic gneisses, dominated by migmatites injected of charnockitic material. K-rich granites also occur as distinct intrusive bodies within the Banded Series as well as the Intrusive Series. In addition, supracrustal rocks (metagraywackes, ironstones, sillimanite-bearing paragneisses and amphibolites) which are probably remnants of greenstone belts occur as large xenoliths in both Intrusive and Banded Series.

Multiple deformational fabrics are encountered in the complex; an E-W to WSW-ENE trending fabric overprinted by a NE-SW foliation, whereas the K-rich granites show a predominant N-S trending foliation. These rocks are strongly mylonitized along the fault boundary with the Pan-African orogenic belt (the Yaounde Group) and are intruded by deformed granite within shear zones where retrogression into amphibolite facies metamorphism is noted.

SHRIMP zircon U-Pb method has been applied to various granitoids from both Intrusive and Banded Series in order to unravel the tectonothermal evolution of the Ntem Complex. Our data set the protocrust formation back into the Palaeoarchaeon (ca. 3500 Ma) whereas the Mesoarchaeon corresponds to the accretion of this complex. 2900 – 2800 Ma imprint is widespread in the Ntem Complex and petrostructural characteristics of rocks suggest that this period represents not only the

emplacement of various magmas (charnockitic suite, tonalitic suite and potassic granitoids) but also corresponds to a major deformational event that structures the complex.

This paper constrains the timing of this important tectonothermal event and the age of the migmatization process causing Pb loss in zircons.

The leucosome part of a migmatite from a sheared corridor of high grade gneisses of granulite facies within the charnockitic suite yielded zircons with complex structure of magmatic inner and outer inherited core surrounded by a dark CL overgrowth. The outer core show signs of resorption at the contact with the dark-CL part and an oscillatory zoned thin rim cover the grain. The inner core has U content of 70 to 186 ppm and Th/U varying from 0.41 to 1.00 whereas the outer part yields 98 – 380 ppm U and 0.10 – 1.22 Th/U ratio. U-Pb data from these inherited domains are discordant; reverse with an age of 2912.3 ± 8.5 Ma for the former and an age of 2878.5 ± 9.5 Ma for the latter.

2912.3 ± 8.5 Ma is interpreted as crystallization age of charnockite magma since the overall zircons structure and U-Pb data is concordant for a charnockitic suite emplacement between 2925 ± 14 Ma – 2892 ± 5 Ma. 2878.5 ± 9.5 Ma is the youngest pre-metamorphic magmatic age whereas 2865.8 ± 9.2 Ma from rim of zircons from a charnockite represents the oldest post-metamorphic intrusion age; therefore together bracketing the peak metamorphism and, implying the origin of the dark CL zircon and the high discordance of data from the outer core that has been linked to Pb loss.

Keywords: Charnockite, Migmatite, Zircon, Bracketing, Pb loss, Ntem Complex.

BROADBAND SEISMIC DEPLOYMENTS IN EAST ANTARCTICA: IPY CONTRIBUTION TO UNDERSTAND EARTH'S DEEP INTERIOR — AGAP/GAMSEIS —

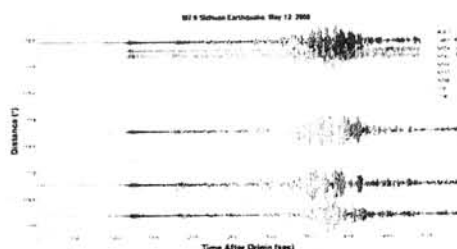
M. Kanao¹, S. Tanaka², S. Tsuboi² and D. Wiens³

¹ National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems

² Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

³ Washington University, Dept. of Earth and Planetary Sciences

Deployment of broadband seismic stations on the Antarctica continent is an ambitious project to improve the spatial resolution of seismic data across the Antarctic Plate. The project has several components, including 1) process-oriented experiments such as 3D-arrays; 2) evolving regional arrays; and 3) a permanent backbone network. Temporary broadband stations deployed on outcrops and continental ice sheet around East Antarctica – African continents will contribute strongly to IPY related major programs such as the IGCP-559, 'POLer observation NETwork (POLENET) (IPY project #185)' and 'the Antarctica's Gamburtsev Province (AGAP)/GAMSEIS (IPY Project #147)'. The observed data during IPY will be available from library servers (ex., POLARIS of NIPR), and sent to world data centres (IRIS/DMS, PACIFIC21), and to AMD/JCADM of the SCAR/ANTEC. In addition to lithospheric studies, data from the large span arrays of broadband stations will allow more detailed investigations of the Earth's deep interior under high southern latitudes.



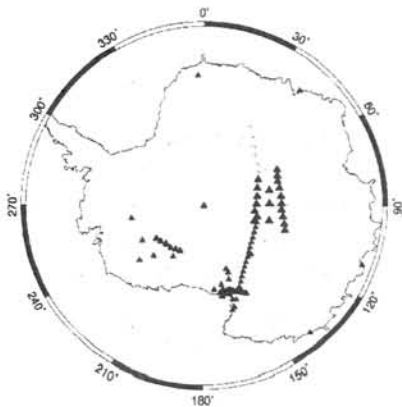
Earthquake in Sichuan, China (May 12, 2008: M 7.9) recorded at GAMSEIS station.

The 'Antarctica's Gamburtsev Province / Gamburtsev Mountain SEISmic experiment (AGAP / GAMSEIS) (IPY project # 147)' project, in contrast, is an internationally coordinated deployment of 25-35 broadband seismographs over the crest of the Gamburtsev Mountains (Dome-A area) – Dome-F area. The proposed seismological investigations would provide detailed information on crustal thickness and mantle temperatures and thus provide key constraints on the origin of the Gamburtsev Mountains, and more broadly on the structure and evolution of the entire East Antarctic craton. Understanding the origin of the Gamburtsev Mountains and the structure of the East Antarctic craton is also vitally linked to other first-order problems, such as the geological history of East Antarctica, the role of its topography and heat flow on Earth's climate and glacial history, and the geophysical and geological controls on subglacial lakes.



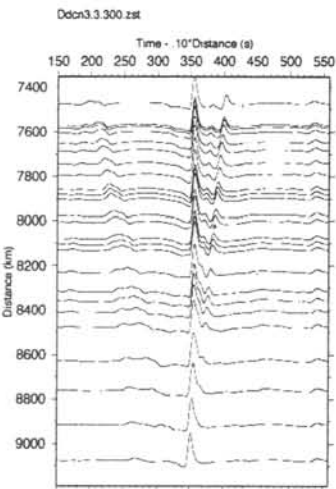
AGAP/GAMSEIS station map plotted on Google-Earth, as viewed from East Antarctica.

In terms of the study on deep interior, in addition to the crust – upper mantle studies, the teleseismic waveforms observed with the GAMSEIS have a great advantage for investigating the lower mantle, the D" region and the CMB. By using the seismographs as a large aperture array located in the southern high latitude, many earthquakes will be observable at the GAMSEIS planned profile. The epicentral distance range from 60° to 90° would be especially suitable for the observation of the D" reflected phases as well as the core reflected phases of ScS and PcP. That from 90° to 130° would be appropriate for the observation of the core diffracted phases of Pdiff, and Sdiff, and a core phase of SKS. So far we have only a few regions in the southern hemisphere where the deep mantle structure has been examined in detail. Thus a new broadband observation program in Antarctica is expected to be an important opportunity to get valuable data.



Broadband array design detecting teleseismic events over the globe to study Deep Interior.

Existing permanent seismic stations belonging to the Federation of Digital Seismographic Network (FDSN) allows resolution of the structure beneath Antarctica at a horizontal scale of 1000 km, which is sufficient to detect fundamental differences in the lithosphere beneath East-West Antarctica, but not to clearly define the structure within each sector. While, observation of seismicity around the Antarctic is limited by the sparse station distribution and the detection level for earthquakes remains inadequate for full evaluation of tectonic activity. In addition to lithospheric studies, the observed teleseismic waveforms have advantages in investigating the deeper part of Earth's interior as they are effectively a large span array located in the southern high latitude.



Reflectivity synthetics: S-ScS (SH comp.) for Fiji event to the TAMSEIS-GAMSEIS extended profile to investigate D" layer.

地震波から見た極域のマントル構造とダイナミクス

山本芳裕・趙大鵬（東北大・理・地震・噴火予知研究観測センター）

Mantle structure and dynamics of the polar regions

Yoshihiro Yamamoto, Dapeng Zhao (Tohoku Univ.)

地球上には、ハワイやアイスランドをはじめとしたホットスポットと呼ばれる火山が数多く存在し、その解釈として 40 年ほど前からマントルプルーム仮説が提唱されてきた（例えば, Wilson, 1963; Morgan, 1971）。マントルプルームとはマントル深部からの熱い上昇流であり、その形状はキノコのようで、head の部分は直径が 500~3000 km, tail は 100~300 km 程度、中心部の温度は周囲より 250~500 K 程度高温になっていると考えられている。

その詳細を明らかにする方法の 1 つに、地震波トモグラフィーがある。我々は Zhao (2004, 2009) によるグローバルトモグラフィーの手法を用いて、全マントル 3 次元 P 波速度構造モデル「Tohoku モデル」を決定した。Tohoku モデルは、5 種類の P 波走時約 170 万個を使って決められたものである。先行のモデルには、高緯度の領域に経線に沿ったゴーストが存在したが、flexible グリッド（グリッド間隔は約 200 km 程度）を用いたことで、それを改善することができた。

このモデルから、Hawaii, Iceland, Canary, Afar などの下には、直径数百 km 程度の低速度異常が、核マントル境界（CMB）から地表まで続いていることが確認された。Tahiti など複数のホットスポットが集中している南太平洋には、マントル深部から地表まで続く巨大な低速度異常が認められた。この結果はこれまでの研究（例えば, Zhao,

2001, 2004）と調和的であるが、本研究では特に、果たしてこの低速度異常が本当に 1 本の巨大なスーパープルームであるのか、あるいは細いプルームのいくつか集まったもの（plume cluster）を分解できていないだけであるのか、という往年の課題を解明すべく、分解能テストもいくつか行った。しかし、南太平洋は波線の分布が不十分で分解能が良くないため、この課題は依然解明できていない。

南極大陸には Erebus 火山がある。Tohoku モデルによると、Erebus 火山の下には下部マントルの中ほど（深さ約 1200 km）まで低速度異常が存在している。分解能テストを行うと、水平方向に少し浸み出しが見られたが、低速度異常の存在自体は信頼できるものと考えられる。Gupta and Zhao (2009) によるローカルトモグラフィーの結果とも調和的であり、Erebus 火山の起源は深く下部マントルにあると考えることができる。

参考文献

- Morgan, W. J. (1971) *Nature*, **230**, 42-43.
 Gupta, S. & D. Zhao (2009) *Gondwana Res.*, **16**, 109-118.
 Wilson, J. T. (1963) *Can. J. Phys.*, **41**, 863-868.
 Zhao, D. (2001) *Earth Planet. Sci. Lett.*, **192**, 251-265.
 Zhao, D. (2004) *Phys. Earth Planet. Inter.*, **146**, 3-34.
 Zhao, D. (2009) *Gondwana Res.*, **15**, 297-323.

新超伝導重力計 (SG-058) の設置計画

池田博 (筑波大)・青山雄一 (極地研)
土井浩一郎 (極地研)・澁谷和雄 (極地研)

Planning of New Superconducting Gravimeter (SG058) Syowa Station at Antarctica

Hiroshi IKEDA (Univ. of Tsukuba), Yuichi AOYAMA (NIPR),
Koichiro DOI (NIPR) and Kazuo SHIBUYA (NIPR)

1. はじめに

南極昭和基地では 1993 年から超伝導重力計 (TT-70 #16) による重力の連続観測が行われている。2003 年からは 4K タイプ GM 冷凍機を装備した小型の超伝導重力計 (CT #043) に更新され、現在も連続観測を行っている。超伝導重力計は地球上の重力を測定して地球内部の動きや地球自由振動の測定により地球の動的特性を解明しようとしている¹⁾。今回、2009 年 11 月に東京を出港する新南極観測船しらせで第 3 世代の超伝導重力計 (CT#058) を導入する予定なので新超伝導重力計装置の概要及び出荷前試験について以下に報告する。

2. 超伝導重力計

重力の測定方法として絶対値を測定する絶対重力測定と重力差や時間的変化を測定する相対重力測定の 2 つに大別される。絶対重力計としては FG5 等に代表されるようにスプリングを利用しているが超伝導重力計は相対重力計で超伝導コイルのつくる極めて安定な磁場で浮上した 1 インチニオブ球の位置変化を検出することで重力の変化を測定する装置である。液体ヘリウム温度で使用しているため熱的ノイズはカットされ、絶対重力計に比べて 3 桁以上感度が高く、1 ナノガル (10^{-11}m/sec^2) までの測定が可能である ($1\mu\text{ガル}=10\text{mm}$ の分解能)。そのため、超伝導重力計は地球深部のダイナミクスを観測目的とするため国際観測プロジェクト GGP が組織され世界各国で観測が続行されている。南極にある超伝導重力計は日本の昭和基地が唯一の装置であり重要な観測点となっている。

3. 新超伝導重力計の概要

新しい超伝導重力計 (CT #058) が筑波大学に搬入されたのは 2009 年 1 月末である。新超伝導重力計は小型の 4K タイプ GM 冷凍機を装備した小型の超伝導重力計でユニットタイプになっており、今までとは違いデータ安定性の向上のため計測系も温度コントロールされたボックスに収納されている。GPS や気圧計も装備しており時計や気圧変動を計算して潮汐信号を差し引いた残差を表示できる。冷凍機と冷凍機用の圧縮機は 100V 仕様でコンパクトになっている。

図 1 に新超伝導重力計の概略図と示す。

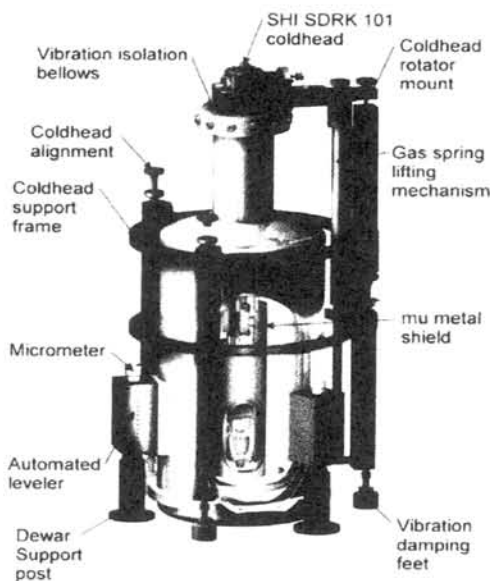


図 1 新超伝導重力計の概略図

第 2 世代で我々の提案したダイアフラムが図 2 に示すように冷凍機からの振動防止のためにアルミ蒸着されたポリウレタン製のダイアフラムが使用されている。これにより従来のゴム製のダイアフラムでは除振についてはある程度効果はあるが不純物混入防止策としては空気やヘリウムガスが透過する問題が解決されなかったが、アルミ蒸着ポリウレタンの使用によりこれらの問題が解決された。これにより圧力コントロールされた状態で個体空気の成長をさせることなく長期連続運転が可能となった²⁾。

立ち上げ作業はセンサー容器 (35 リットル) を液体窒素で予冷後、液体窒素を追い出し、液体ヘリウム容器から液体ヘリウムをトランスファーして 1 時間で液体ヘリウム温度まで冷却した。その後、小型 4K 冷凍機でヘリウム液化を行いヘリウム液面を上昇させた。液体ヘリウムが 70% 以上になってから超伝導重力計の初期レベレーションと調整を行い勾配調整で 2.4V/10mA を達成した。動作試験の結果、冷凍機 1 段で 35K、2 段で 3.6K を達成した。

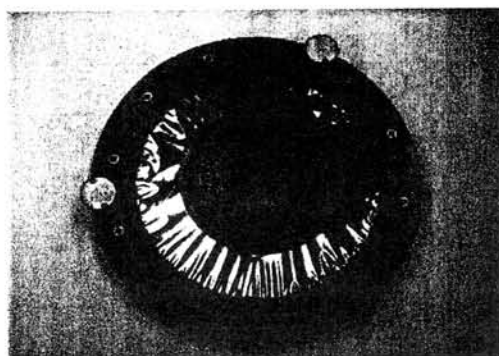


図2 新超伝導重力計のダイヤフラム

動作テストを2ヶ月行い問題ないことを確認した。この後、冷凍機を停止したときの蒸発量の測定と液化率の測定を行いその結果、冷凍機停止後の蒸発量は5%/日でヘリウム液化率は10%/日であった。その後、室温まで戻して再び隊員の訓練を兼ねて同様の冷却試験を行い無事に終了した。9月から装置を分解して輸送に備えて防振対策を行い南極観測船しらせに積み込む予定である。

1月末から現在までに観測されている約1カ月間の潮汐変化を図3に示した。ひとつのサイン波が1日の潮汐信号でさらに大きな周期のサイン波が見えるが、これは満月と新月の周期である。上下に大きな振幅があるのは地震による信号である。

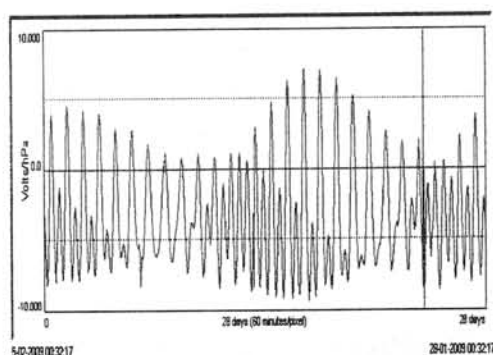


図3 1か月間の潮汐変化観測結果

同時期に産総研の杉原さんによる絶対重力計 (FG5) による絶対重力計と比較観測により $-72 \mu\text{Gal}/\text{V}$ という結果が得られた。また1か月間のドリフトチェックによりドリフトは約 $2 \mu\text{Gal}$ 以下であり、安定したニオブ球であることが確認された。

そこで初めての試みとして、超伝導重力計の GM 冷凍機取り付け部に鉛のおもりを 30Kg 載せて、おもりによる重力値の変化を観測することにした。図4はその結果を示した。図の右側の差し込み図は Gravitational Signal 信号と Gravitational Balance 信号でおもりを載せたと

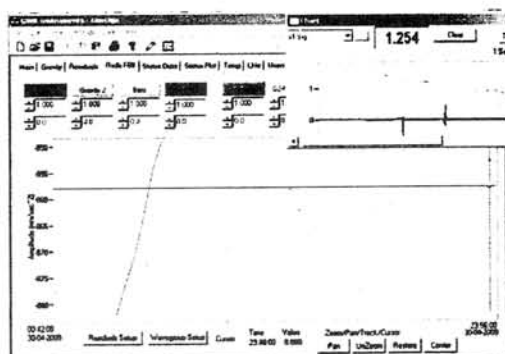


図4 超伝導重力計による重力変化

きと取り除いたときにスパイク状の信号が出ている。図の中央に示したのが理論潮汐分を観測した潮汐成分を含めた観測値から差引いた残差である。つまり重力変化に相当する。計算上ではセンサーから 1 m の距離で 30Kg のおもりにより重力値の変化は $0.2 \mu\text{Gal}$ であり、測定結果より $0.2 \mu\text{Gal}$ の変化を感知出来ることを確認することが出来た。このように高精度の重力観測が可能であることが実証できた。

今後は、南極への輸送に対しての防振対策と昭和基地での液体ヘリウムの調達に関して段取りを調整することである。

5. まとめ

小型 4K-GM 冷凍機を装備した新超伝導重力計 (SG-058) の設置計画の進行状況について報告した。監視システムの性能向上により担当隊員の負担が大幅に軽減されることを期待している。第3世代の超伝導重力計は超伝導球の性能、計測システムの温度制御、ヘリウム蒸発量の低減、アルミ蒸着したポリウレタン製ダイヤフラムを使用により、感度を左右する冷凍機からの振動防止と固体空気などの不純物混入の両方を解決することが可能となり長期運転が可能となった。

本設置計画は第51次南極地域観測隊夏作業として行われる予定であり観測隊およびしらせ関係者の皆様の協力なしには成功しないのでは是非とも協力を得たい。

参考文献

- 1) K.Nawa, N.Suda, Y.Fukao, T.Sato, Y.Aoyama, and K.Shibuya(1998), Earth, Planet and Space Vol.50, pp3-8.
- 2) H.Ikeda et al; TEION KOGAKU 39(2004) 348-353.

GRACE と海底圧力計による Lützow-Holm 湾近傍南極沿岸流の変動観測

早河秀章、澁谷和雄、土井浩一郎、青山雄一、野木義史 (国立極地研究所)

Variation of the Antarctic Coastal Current in the vicinity of Lützow-Holm Bay, East Antarctica derived by GRACE and in-situ bottom pressure measurements

Hideaki Hayakawa, Kazuo Shibuya, Koichiro Doi, Yuichi Aoyama and Yoshifumi Nogi (NIPR)

南極沿岸流は、南大洋の南極沿岸域を西向きに流れる世界最南のカレントである、南極沿岸域の活発な大気海洋交換の重要な要素である。遠洋であることと海水によってその時間変動は十分に理解されていない。GRACE はグローバルな重力場から連続的な海底圧力測定をする。海底圧力差から地衡関係を用いて近似的に地衡流変動を見積ることができる。海洋の重力場信号は陸域信号と比べて弱いため各海域で海底圧力計 (BPR) を用いた GRACE データの精度検証がおこなわれている。GRACE データは短波長信号の誤差を減衰させるために空間平均化されるが、このとき沿岸から数 100km の海洋信号に陸域の信号の一部を代入してしまう。陸域のマスク処理で軽減できるが、沿岸域の GRACE データは慎重に取り扱わなければならない。

本研究では、唯一南極沿岸域の深海部、Lützow-Holm 湾沖で観測している JARE の BPR を用いて沿岸域の GRACE 検証をおこない、GRACE は大陸斜面下部の深海域の海底圧力変動を捉えていることを示す。沿岸域は南北に狭いため空間平均化された GRACE では沿岸流域の海底圧力差が得られない。そこで昭和基地 Tide Gauge (TG)

と組み合わせ Lützow-Holm 湾付近の海面力学高度の変動を調べ、沿岸流の順圧的な地衡流速変動の検出を試みる。

GRACE データは GRACE tellus web site で提供される海底圧力データを用いた。また比較のため GRACE のデエイリアジングに用いる AOD モデルも扱った。GRACE における大気海洋域変動を説明するモデルである。データ比較では GRACE に合わせてすべて 1 ヶ月平均を扱った。

Figure 1(a) は BPR 観測点の BPR, GRACE, ECCO モデルの月別平均、(b) は TG と GRACE, ECCO の沿岸近傍の月別平均を表す。BPR 観測点では波数 1 の季節変動が卓越する。GRACE の変動振幅は BPR より小さいが、ECCO とほぼ同じ大きさであった。この季節変動は南半球の夏に最大、秋冬に最小となる。一方沿岸近傍は 3 者 3 様の変動を示した。TG は波数 1 の季節変動が卓越するが、その位相は沖域のほぼ逆位相である。TG の季節変動は昭和基地の風強度と正相関することが知られている。沿岸の GRACE は沖とほとんど変わらない。沿岸の ECCO は半年周期が顕著であった。

相関解析の結果、GRACE は BPR または ECCO と相関係数 0.6 オーダーの正相関を

示した。周期帯別の結果では、短周期(≤ 7 ヶ月)の場合相関係数の値(+0.5)は小さくなり、長周期(8-19ヶ月)では相関係数+0.8を超える高い相関を示した。AODは短周期で+0.56、長周期で+0.49の相関係数を示した。AODはBPR観測点の短周期成分を説明できるが長周期は説明できない。

沿岸域の海面高変動は、南半球の大気モード Antarctic Oscillation (AAO)と負の相関関係をもち、沿岸域に束縛された環状パターンを示すことが知られている。そこで AAO と各データの月偏差の相関を求めた。BPRは短周期で相関係数-0.42、長周期で-0.54の負相関を示した。GRACEは短周期で意味のある係数が得られなかったが、長周期では-0.66の負相関を示した。AODは短/長周期で-0.44/-0.73の負相関を示した。GRACE観測値におけるAAO応答はAODで説明できる。沿岸ではAAO相関は帯域によって大きな違いはなく相関係数はTGで-0.51、ECCOで-0.76の負相関を示した。沿岸近傍のECCOはTGの大きな季節変動を説明しないが強いAAO応答を示す。

空間平均化は一般に点観測である直接観測より海洋信号を小さくする。BPR観測点は大陸斜面のふちにあり南北方向に浅海から深海へ順次変化する。また Boundary of ACCが65S付近にまで南下してきている。様々な空間変動パターンの平均化は南北に狭い沿岸沖域固有の変動を埋没させる。ただしBPRとの高い相関とAAOとの相関は陸域シグナルの影響が小さいことを意味する。結局GRACEは沿岸沖域の半年以上の長周期海洋信号を過小ではあるが捉えているといえる。

以上の結果を踏まえ Lützow-Holm 湾付近の沿岸流の地衡流速変動を考える。ジオイドと平均海面高の差である Dynamic

Ocean Topography (DOT、海面力学高度のMAP)から地衡関係を用いて定常的な地衡流速を決定できる。地衡流速は海面力学高度差に比例する。BPR観測点と昭和TGを結ぶ線上、沿岸流を横切るDOTを各々の観測値を用いて変化させDOTの相対的な変動を見積もった。沿岸と沖は季節変動では逆相、AAO応答は同相に変化する。その結果、平均流速に対して季節変化は最大18%の変化を起こした。AAOは最大でこの半分程度の変化を起こした。TGの振幅は沖より大きいと海面力学高度差の変化はTGに依存する。しかし沖のGRACE起因の変化はTG起因変化に対して10%以上の寄与をするので無視することはできない。

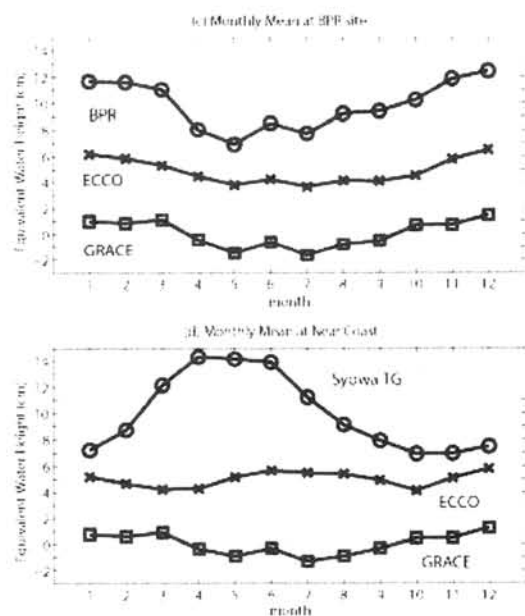


Figure1. (a)はBPR観測点のBPR, GRACE, ECCOの、(b)は昭和TGとGRACEとECCOの昭和基地近傍点(69.5S, 39.5E)の月別平均である。GRACEは全てフィルター半径500kmのプロダクトである。昭和TGの振幅は半分の大きさで表示している。

南極大陸周縁域の大陸棚深度に関する考察

奥野 淳一・三浦 英樹・野木義史 (国立極地研究所)

Implication of the depth of continental shelf around Antarctica

Jun'ichi Okuno, Hideki Miura, Yoshifumi Nogi (NIPR)

南極大陸の周縁には世界的に見ても広い大陸棚が連なり、その幅は地域的に大きく異なるが、西南極大陸沿岸では、200 kmを越えるところが多く存在する。西南極大陸にくらべると、東南極大陸の沿岸に連なる大陸棚の幅は狭いが、平均すると、60°Eより東では約 100 km、西では約 60 km程度である。特に注目すべきところはその外縁の深さで、世界の他の海域の大陸棚にくらべて異常に深く、表面の地形が起伏に富み、その沿岸部の海面が棚氷に覆われていることは、南極大陸周縁の大陸棚に見られる顕著な特徴である。南極大陸の周縁に広がる大陸棚の外縁の深さは、一般には500-900 m であり、ところによっては1000 m にも達するところがある (Fig.1)。中・低緯度地帯に広がる大陸棚はもとより、外縁の深さがおおむね 400-500 m である北極海、およびその周縁海域に広がる大陸棚とくらべても、はるかに大きい。

現在の南極大陸は、大波長の地形に関しては、アイソスタティックにはおおむね平衡状態にあると推定されている (松本, 1986)。したがって、世界の他の海域の大陸棚にくらべて南極大陸周縁の大陸棚が異常に深いのは、巨大な氷床の荷重によって、大陸棚を含む南極大陸全体がアイソスタティックに沈降しているからであろうという考えが、早くから存在した (Stagg, 1985)。しかしながら、それらの詳細な因果関係についての定量的な評価は、いまだ不足しているのが現状である。

一方、南極氷床の盛衰に関しては、1981年にアメリカでまとめられた約2万年前の世界各地における最終氷期最盛期 (Last Glacial Maximum: LGM) の氷床分布図が示された「世界の第四紀古気候に関する研究計画 (CLIMAP)」が挙げられる。しかし、この当時の南極氷床変動に関する地形地質学的観測値は、西南極のロス海周辺のわずかなものに限られており、南極氷床は、北半球氷床の発達に伴う海水準の低下によって、受動的に大陸棚の末端まで拡大したと考えられた。この考え方により、南極におけるLGMの

氷床拡大範囲は、南極大陸縁辺部の大陸棚末端の位置をつなぐ線によって復元されている。しかし、前述したように、南極大陸外縁部の大陸棚末端の深度は500-900 mと深く、氷期における約150m程度の海水準低下では、氷床は大陸棚末端まで着底することはできないという問題点が存在する。このように、第四紀およびそれ以前の南極氷床盛衰の歴史と、周縁大陸棚の地形発達には密接な関係があると考えられる。さらに南極大陸周縁の地形は、南大洋の海洋循環にも影響をおよぼし、グローバルな気候変動との密接な関与が予想され、第四紀の気候変動を考察する上でも重要な要素であると考えられる。南大洋の変動史と海底地形発達史およびテクトニクスに関する研究 (Hayes, *et al.*, 2009) も古気候の復元という観点から進められているが、本研究では、glacial isostatic adjustment (GIA)モデルを用い、地球表面における荷重としての南極氷床と南極大陸周縁の地形との関係について、粘弾性地球の変形という観点から定量的に評価し、南極周縁の大陸棚深度、南極氷床の盛衰および地球内部粘性構造について考察する。

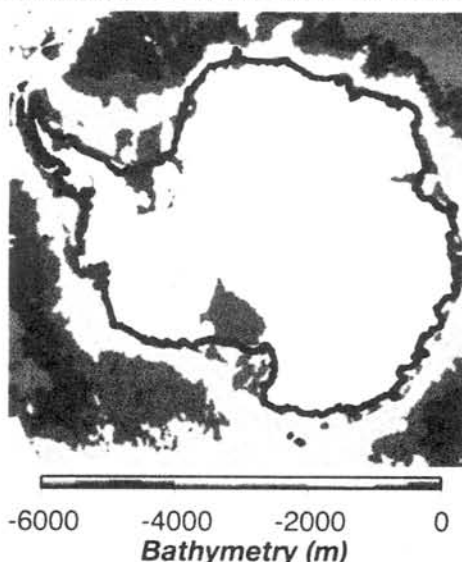


Fig.1 南極大陸周縁部の海底地形

南東アラスカにおける GIA の再評価

佐藤忠弘、三浦 哲（東北大学大学院理学研究科）

Reevaluation of the GIA in Southeast Alaska

Tadahiro Sato and Satoshi Miura (Graduate School of Science, Tohoku University)

1. Introduction

Southeast Alaska (SE-AK) shows very rapid uplift, with peak rates exceeding 30 mm/yr, which are mainly caused by Glatier Isostatic Adjustment (GIA) due to the effects of past and present-day ice melting (Larsen et al., 2004, 2005, hereafter referred as GJI2004 and EPSL2005, respectively).

A joint Japanese-US observation project called International geodetic project in SouthEAsTern Alaska (ISEA) was initiated in 2005 to follow up the work of the University of Alaska Fairbanks (UAF) by adding new geodetic data sets (Miura et al., 2007).

Fig. 1 shows the study area. Since EPSL2005 was published, new data become

available and more precise velocities are derived at many sites. Based on 91 improved GPS data sets, the absolute gravity (AG) measurements at 6 sites with a FG5 absolute gravimeter and the proposed ice models, we estimated three ice effects of the present-day ice melting (PDIM), the little ice age (LIA) and the last glacier maximum (LGM), and we reevaluated the thickness of lithosphere and the viscosities of the mantle including that of asthenosphere.

2. PDIM effects

To test the sensitivity of the estimated rheological parameters to the elastic PDIM effects, we have compared two PDIM models; one is EPSL2005 model (Larsen et al., 2005) and the other is JGR2007 model (Larsen et al., 2007). While EPSL2005 was produced based on ice height change data (e.g. Arendt et al., 2002) over the 40-year period from the mid-1950s to the mid-1990s, JGR2007 was produced based on the 2000 Shuttle Radar Topography Mission and the USGS NED digital elevation data over 40 years from the mid-1960s to 2000. Mean epochs of these data sets are the mid-1970s and the middle of 1980s for the former and the later. Therefore, there is a difference of 10 years in the mean epochs between the two ice models.

The computations were done using a modified version of the computer code 'GOTIC' for loading problems (Sato and Hanada, 1984). An advantage of an analytical integration method used in GOTIC is that we can avoid a singularity in the convolution integral at the locations where the observation site and loading mass are the same.

In the computations, Green's function for the PREM earth model (Dziewonski and

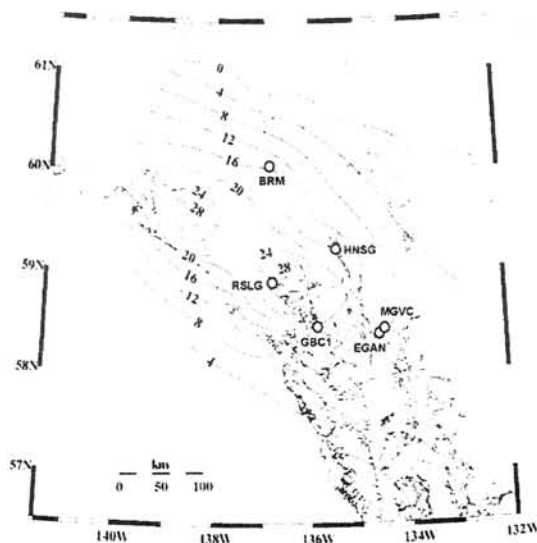


Fig.1. Study area and the location of 6 AG sites. Contour map shows the distribution of uplift rate based on the GPS observations at 91 sites.

Anderson, 1981) with the spherical harmonic order up to 10000 was used in this study. For the Newtonian attraction term, we estimated it as an effect of thinning of glaciers. The spatial extent and the thinning rates of glaciers were based on those given by EPSL2005 or JGR2007 models.

3. Effects of LIA ices

During the LIA, Glacier Bay area was covered with glaciers of up to 1.5 km in thickness. Since the middle of the 18th century (i.e. about 250 years ago), when the LIA began to wane, this thick ice has rapidly retreated (e.g. Molina, 2008). We estimated the effect of post-LIA ice melting based on the melting history proposed by GJI2004 and EPSL2005 papers.

We have tested two different kinds of rheological models: a two-layer model similar to that in EPSL2005 and a 4-layer model that takes into account the phase boundaries in the upper mantle in the PREM earth model. In these computations, the density and shear modulus were taken from PREM. The ranges of viscosity value and thickness tested here are: 1×10^{17} to 1×10^{19} Pa s and 30 to 150 km for the asthenosphere; 1×10^{19} to 4×10^{20} Pa s and 460 to 580 km for the remaining three layers of the upper mantle; 4×10^{20} to 3×10^{22} Pa s and 2551 km for the lower mantle. The thickness of the lithosphere was tested for the range of 30-150 km. The density and elastic structure of the model were taken from PREM.

The combinations of the rheological parameters tested here were 73 and 88 in number for the 2-layer and 4-layer models, respectively. The time epoch for the computations was set to the year 2005.

4. Effects of LGM ices

We computed the effect of LGM ice load at our GPS sites based on the ICE3G model (Tushingham and Peltier, 1991). Considering the spatial dimension of the LGM ice sheet, we computed its effect with a 4-layer viscous model. The time epoch is the same as that used in the computation of LIA.

Although the effect of LGM ice is small in SE-AK (i.e. 2 mm/yr at the maximum), we have confirmed that, by comparing with the misfits obtained by correcting for only two effects of PDIM and LIA, correcting for the LGM effect can improve the χ^2 of misfits by about 0.5 %.

5. Discussion and Summary

Fig.2 shows the comparison between the observations and the predicted values for the three ice effects of the PDIM, LIA and LGM at 6 AG sites. We see that the predicted values well recover the rates of uplifting and gravity changes observed by GPS and AG.

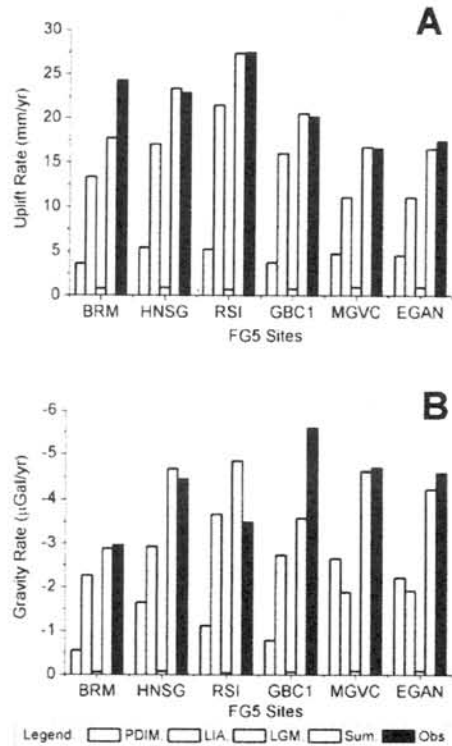


Fig.2. Comparison between the observations and the model predictions. Top (A): Uplift rates at the 6 AG sites. Bottom (B): Gravity rates. For the predictions, three ice effects of the PDIM, the LIA and LGM are considered. Sum shows their sum. For the PDIM effect, results obtained using JGR2007 model are shown.

In the mean time, in the uplift rates, the observation errors are ± 3 to ± 4 mm/yr at the maximum, but at most sites, they are less than or equal to 1 mm/yr. For the gravity rates, they ranges between ± 0.1 to ± 2.2 $\mu\text{Gal/yr}$. Statistical examinations of the misfits between observations and model predictions indicate that the JGR2007 model gives much consistent results than the EPSL2005 model, based on the minimum value of χ^2 and the similarity of the residual distribution to a Gaussian function.

We have tested two different kinds of mantle viscosity structure: a 2-layer model similar to the model used by EPSL2005 and a 4-layer model. For the 2-layer model, at the 95% confidence interval, the optimum values for the lithosphere thickness and the viscosity of the asthenosphere (with a thickness of 110 km) are 54 (45-65) km and $5.58 (4.0-12.0) 10^{18}$ Pa s, respectively. On the other hand, for the 4-layer model, the best values were 60 (42-63) km and $10.0 (3.0-13) 10^{18}$ Pa s.

Although the viscosity values obtained here are still within overlapping error ranges, they are slightly larger than the previous values of EPSL2005 by a factor of 1.5 or more. The most likely reason for the change is the different magnitude of the estimated PDIM effects in the respective studies.

Our comparison results for the gravity effects of PDIM also indicate that the estimation using JGR2007 model is much consistent to the observed rates at the 6 AG sites than those using EPSL2005 model, as well as the case of uplift rates. Moreover, our computation suggests that thickness of glaciers in the SE-AK area is estimated to be the range of 400-600 m as a mean over that area.

Acknowledgments

The effects of LIA and LGM were computed using the PGR (Post-Glacial Rebound) code 'TABOO' developed by Spada et al. (2003). The ISEA project was supported by Grants in Aid of the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) No. 17253003. US participants were supported by the

National Science Foundation (NSF grant: EAR-0408801).

References

- Arendt, A.A., Echelmeyer, K.A., Harrison, W.D.C., Lingle, S., Valentine, V.B., 2002. *Science* 297, 382–386.
- Dziwonski, A.D. & Anderson D.L., 1981. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 25, 297-356.
- Larsen, C.F., Motyka, R.J., Freymueller, J.T., Echelmeyer, K.A., Ivins, E.R., 2004. *Geophys. J. Int.* 158, 1118–1133.
- Larsen, C.F., Motyka, R.J., Freymueller, J.T., Echelmeyer, K.A., Ivins, E.R., 2005. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 237, 548-560.
- Larsen, C.F., Motyka, R.J., Arendt, A.A., Echelmeyer, K.A., Geissler, P.E., 2007. *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JF000586.
- Miura, S., Sato, T., Freymueller, J.T., Kaufman, M., Cross, R., Sun, W., Fujimoto, H., 2007. In: Tanaka, H.L. (Ed.), *Proc. of the 7th International Conference on Global Change: Connection to Arctic (GCCA-7)*, pp. 95–97.
- Molnia, B.F., 2008. in Williams, R.S., Jr., and Ferrigno, J.G., eds., *Satellite image atlas of glaciers of the world: U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-K*, 525 p, <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386k/>.
- Sato, T., Hanada, H., 1984. In: *Proceedings of the International Conference on Earth Rotation and Terrest. Refer. Frame*, pp. 742–747.
- Spada, G., *The Theory Behind TABOO*, 2003b. Samizdat Press, Golden-White River Junction.
- Tushingham, A.M. and Peltier, W.R., 1991. *J. Geophys. Res.*, Vol.96, No.B3, 4497-4523.

*** Note ***

This extended abstract is based on a manuscript by T. Sato, C.F. Larsen, S. Miura, Y. Ohta, H. Fujimoto, W. Sun, R.J. Motyka, and J.T. Freymueller. References are not complete one due to the limited pages.

JARE-51 セール・ロンダーネ山地地学調査計画概要

Action Plan for Geoscience Expedition of Sør Rondane Mountains in JARE-51

土屋範芳（東北大・環境科学）、石川正弘（横国大・環境情報）、M. Satish-Kumar（静岡大・理）、河上哲生（京大・理）、Geoff Grantham（南アフリカ・地調）、Steven Goderis（ベルギー、ブリュッセル自由大学）、三浦英樹、菅沼悠介、橋詰二三雄、阿部幹雄、佐々木大輔、小島秀康、海田博司、岡田豊、千葉政範（極地研）

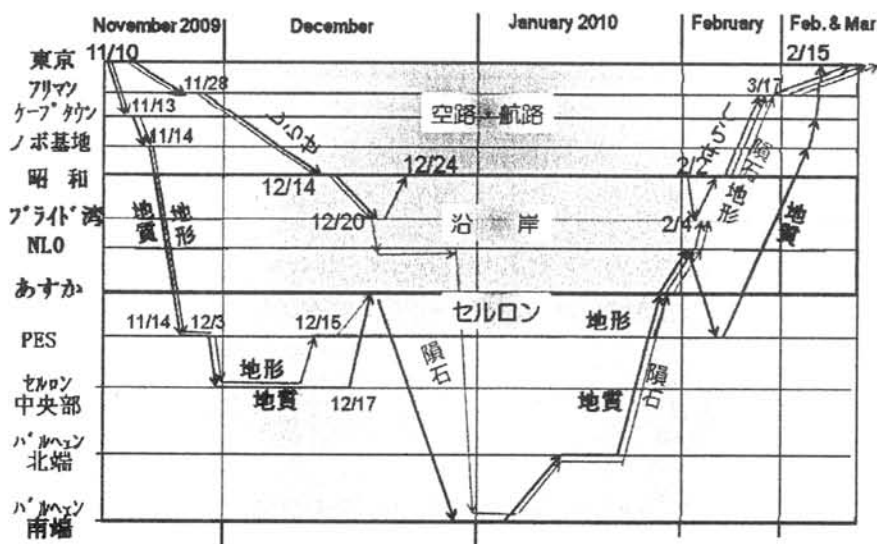
JARE-51 では、49,50 次隊に引き続き、セール・ロンダーネ山地での地学調査を実施する。本調査は、地質隊、地形隊、隕石隊の3部門から成り、各部門にはそれぞれ1名の同行者（地質—南アフリカ、地形—大学院生、隕石—ベルギー）を加え、総勢16名の国際隊となる予定である。

セール・ロンダーネ山地へは DROMLAN を用いてアクセスする地質隊と地形隊（11/10 成田出発予定）、新しらせによりアクセスする隕石隊に分かれ（11/24 成田出発予定）、地質隊は DROMLAN により2月中旬に帰国するが、地形隊と隕石隊は新しらせにより3月下旬に帰還する。

地質隊：土屋、石川、サティシュ、河上、グランサム、地形隊：三浦、菅沼、橋詰、隕石隊：小島、海田、ゴデリス、設営：阿部（FA）、佐々木（FA）、岡田（越冬隊医療）、千葉（機械）であり、このほかにベルギー隊の機械隊員、JARE-51 夏隊の機械隊員の支援をいただく予定である。

DROMLAN で Utsteinen（ベルギー基地：Princess Elizabeth Station）にアクセスする地質隊と地形隊は、しらせが到着するまでの約1ヶ月間は、セール・ロンダーネ山地西部、中央部を調査し、地質隊はしらせ到着の12/20前には、山地東部の Balchen 地域に調査地域を展開する。一方、地形隊は Utsteinen 周辺域を中心に、ルート工作が終了し安全性が確保された地域を調査する。

隕石隊は、12/20 前後にブライド湾またはクラウン湾に新しらせで到着し、居住用のモジュール等を2台組み立てた後、Balchen 地域で隕石探査を行う。



本次隊は、隊の規模が大きく、また DROMLAN としらせを組み合わせた多様な南極圏へのアクセス、ベルギー隊との共同作業を含む山地オペレーションなど、いままでにない試みが数多く行われる。

セール・ロンダーネ山地での野外行動計画（090901 時点）

第29回極域地学シンポジウム

ポスター発表要旨

The 29th Symposium on Polar Geosciences

Abstracts for Poster Presentation

東南極・セールロンダーネ山地中央部における変成経路と年代との対応

足立達朗 (総研大), 外田智千 (極地研), 小山内康人 (九州大), 豊島剛志 (新潟大),
馬場壮太郎 (琉球大), 中野伸彦 (九州大)

Correspondence between P-T paths and U-Pb ages in the central Sør Rondane Mountains, East Antarctica.

Tatsuro Adachi (Sokendai), Tomokazu Hokada (NIPR), Yasuhito Osanai (Kyusyu Univ.)

Tsuyoshi Toyoshima (Niigata Univ.), Sotaro Baba (Univ. Ryukyus) and Nobuhiko Nakano (Kyusyu Univ.)

セールロンダーネ山地の変成作用とその年代については Asami et al. (1992) などによって, 約 1000Ma に 800°C, 8kbar 付近のピーク変成作用を経験した後, 約 500Ma に 550°C, 5.5kbar 付近で後退変成作用を被ったとされた。これらで提唱された変成経路は東西 200km 南北 100km に渡る広大なセールロンダーネ山地全域が同一の変成経路をたどっていることを前提としていた。しかし最近の研究結果により, ブラットニーパネ地域では反時計回り (馬場ほか 2008, 大和田ほか 私信), アウストカンパーネ地域では時計回り (小山内ほか 2008, 外田ほか 2009) の変成経路の証拠が見出され, 各地域によって変成経路が異なることがしめされた。このことは地域ごとの変成経路を解明し比較することが必要であることを示している。年代については Shiraishi et al. (2008) が >1000Ma, 800Ma, 650-600Ma, 560-520Ma といった多様な SHRIMP Zrn U-Pb 年代値を報告し, 650-600Ma が主要な変成年代と解釈した。これによりセールロンダーネ山地における主要なイベントが 10 億年前と 5 億年前の 2 つであるという図式は成り立たなくなってきた。このように変成経路と年代値の情報は徐々に集まりつつあるが, このように複雑な変成史を経た地域のテクトニクスを解明するためには, 等時間面での現象を比較する必要がある。外田ほか(2008)では岩石の組織

と Mnz 年代とを組み合わせ, ~600Ma のピーク変成作用とそれとほぼ同時期と考えられる加水作用, および ~500Ma の岩脈貫入を示し, イベントと年代の対応付けの例を示した。しかしながら, このような変成条件と年代値の対応付けはまだ山地内の広域で行われているわけではない。そこで本講演では, セールロンダーネ山地中央部ブラットニーパネ, メニパ, ルンケリッゲン, アウストカンパーネ各地域の変成経路の解析と Zrn, Mnz 年代との対応付けを試みたのでその結果を報告する。

ブラットニーパネ・メニパ地域

この地域の泥質変成岩には Grt, Crn が共存するものが存在する。また両者の包有物として Spl や Bt が産出し, AFM 図上で Spl は Grt, Crn (Sil) を結ぶ直線に乗ることから, 以下の反応が想定される。



この反応と Grt-Bt 温度計 (Holdaway, 2000) から, この岩石は 750-800°C, 6-7kbar 付近を圧力上昇に伴って通過したと考えられる。Grt-Bt 珪長質片麻岩や Grt-Opx 珪長質片麻岩に含まれる Grt は Ca が縁部で増加する累帯構造を示し, 変成ピーク付近での加圧を示唆する。また Grt-Opx-Pl-Qtz 圧力計 (Newton & Perkins, 1982), Grt-Opx 温度計 (Harley, 1984) を適用すると 750°C, 7-8kbar 付近の条件が得られる。

また苦鉄質グラニュライトからもほぼ同様の温度条件(700-800°C)が見積もられる。これらの温度条件は足立ほか(2008)で報告された Ti-in-Qtz 温度計(Wark&Watson, 2006)の結果と調和的である。後退変成作用の痕跡は、珧長質・泥質変成岩ともに Grt を Bt と Pl が置換するコロナとして認められる。Grt 縁部とコロナをなす Bt, Pl の組成を用いて Grt-Bt-Pl-Qtz 圧力計(Wu et al., 2004)と Grt-Bt 温度計を用いるとおおよそ 550-600°C, 3-4.5kbar 付近で加水反応が起きたことが示唆される。

ブラットニーパネ・メニパ地域において、800°C前後の温度条件を保持している試料について Zrn, Mnz の年代測定をすると、630-600Ma と 570-550Ma の年代が得られる。なお後退変成作用の影響が小さい試料については 600Ma 以降の年代が明瞭ではない。このことは 630-600Ma がピーク変成作用の時期であることを示唆している。メニパ地域の一部では、800°C以上の変成条件を示さず、550Ma の変成年代のみを記録しているものも存在する。

アウストカンパーネ地域

この地域の泥質変成岩には特徴的に Crd が認められる。多くの場合、Crd は Grt を取り囲むように産する。マトリックスには Sil も存在するが、Grt とは接しないことから以下の反応を示唆する。



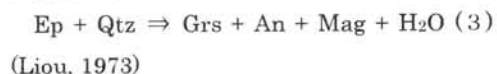
この反応において Crd の X_{Mg} 値は圧力の指標となる。当地域において Crd は $X_{\text{Mg}}=0.7$ 前後の値を示す。これと Grt-Crd 温度計(Perchuk&Lavrenteva, 1983)を用いた見積もりから、750-850°C, 5kbar 付近を減圧しながら通過したと考えられる。この温度条件は足立

ほか(2008)で報告された Ti-in-Qtz 温度計の結果と調和的である。またブラットニーパネ地域と同様に反応(1)を示唆する Grt+Crn 共生が認められる。この反応が起こる物理条件と Grt や Crn に包有される Bt の組成を用いた Grt-Bt 温度計の結果から、約 580°C, 4-5kbar 付近が得られる。このことは、当地域においては反応(1)が等圧冷却過程で起きたことを示唆している。後退変成作用の痕跡は、ブラットニーパネ地域と同様 Grt を Bt と Pl が置換する組織として認められる。それに基づいて Grt-Bt-Pl-Qtz 圧力計と Grt-Bt 温度計を用いるとおおよそ 550-600°C, 2.5-4kbar で加水反応が起きたことが示唆される。

年代については、ブラットニーパネ地域と同様に 800°C前後の温度条件を保持している試料については、630-600Ma と 570-550Ma の年代が得られ、後退変成作用の影響が小さい試料については 600Ma 以降の年代は不明瞭である。

ルンケリッゲン地域

Hbl, Bt, Ep を含む珧長質片麻岩が広く分布する。一部の試料に含まれる Grt は Mn, Ca に富み、縁部で Ca が増加する明瞭な成長部を持つ累帯構造を示す。このことは、以下の反応を示唆する。



ただしこの地域において Ep+Qtz 共生が普遍的に認められることから、変成条件は反応曲線(3)付近あるいはそれより低温・高圧側であると考えられる。Grt-Hbl-Pl-Qtz 圧力計(Kohn&Spear, 1990), Hbl-Pl 温度計(Holland&Blundy, 1994)を用いると、600-700°C, 5-8kbar が見積もられる。

この地域において変成年代は550Maのみが得られ、600Maの年代はまったく認められない。このことはルンケリッゲン地域でのメインの変成作用の時期が550Maであることを示唆する。

テクトニクスへの制約

ブラットニーパネ・メニパ地域とアウストカ
ンパーネ地域の変成経路はそれぞれ反時計回
り、時計回りと異なるが、ともに650-600Ma
に800℃以上のピーク変成温度条件を経験し
ていること、等圧での冷却過程を経ていること
など共通点が多い。一方でメニパ地域の一部や、
ルンケリッゲン地域には800℃以上の変成作
用の痕跡や600Ma以前の変成年代が認められ
ない。このことは600Ma以前の変成作用を記
録している地域と550Maに変成作用を受けた
地域は明瞭に異なる履歴を経ており、両者が
550Ma以降に接合したことを示している。構
造的には、両者間に高角の断層は確認されてい
ない。メニパ地域では600Ma以前の変成作用
を記録している岩体の見かけ下位に、550Ma
に変成作用を受けた岩体が、互いの走向にほぼ
平行に、水平に近い境界で接合しているように
見える。このことは、両者の境界が低角な断層
である可能性を示している。このように、明瞭
に異なる履歴を保持する岩体同士が、低角な境
界で接している例は、中央ドロンニングモード
ランド地方や、モザンビークにおいても想定さ
れている(Grantham et al. 2008)。これは、ゴ
ンドワナ超大陸形成時に存在が想定されてい
る東アフリカ-南極造山帯(EAAO, Jacobs
et al. 2003)において、ナップ構造が支配的な
テクトニクスである可能性を示しているのか
もしれない。

引用文献

- 足立ほか 2008. 第26回極域地学シンポジウム講演要旨集.
Asami et al. 1992. In Yoshida et al. (eds), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Tokyo. pp7-15.
馬場ほか 2008. 日本地質学会第115年学術大会講演要旨集.
Grantham et al. 2008. In Satish-Kumar et al. (eds), *Geodynamic Evolution of East Antarctica: A Key to East-West Gondwana Connection*. Geological Society of London, Special Publication 308, pp91-119.
外田ほか 2008. 第26回極域地学シンポジウム講演要旨集.
外田ほか 2009. 日本地球惑星科学連合2009年大会講演要旨集.
Holdaway 2000. *American Mineralogist*, 85, 881-892.
Holland & Blundy 1994. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, pp433-447.
Kohn & Spear 1990. *American Mineralogist*, 75, 89-96.
Liou 1973. *Journal of Petrology*, 14, 381-413.
Osanaï et al. 1992. In Yoshida et al. (eds), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Tokyo. pp7-15.
Shiraishi et al. 2008. In Satish-Kumar et al. (eds), *Geodynamic Evolution of East Antarctica: A Key to East-West Gondwana Connection*. Geological Society of London, Special Publication 308, pp21-67.
Wark & Watson 2006. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, 743-754.
Wu et al. 2004. *Journal of Petrology*, 45, 1907-1921.

東南極リュッツホルム岩体明るい岬のザクロ石- 普通角閃石 コロナの形成条件 池田 剛 (九州大学)

Formation of garnet-hornblende corona in Akarui Point, Lützow-Holm Complex, East Antarctica

T. Ikeda (Kyushu University)

東南極リュッツホルム岩体では、時計廻りの温度圧力経路が推定されている。その根拠の1つとして、ザクロ石の周囲に発達するコロナ構造が挙げられる (Yanai et al., 1984; Hiroi et al., 1986)。

本研究では、明るい岬の変成超塩基性岩中のザクロ石の周囲に発達するコロナ構造の組織および鉱物化学組成を記載し、組織形成時の温度を推定した。

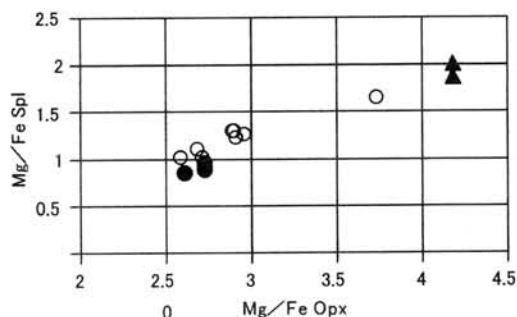
対象とした超塩基性岩は、大部分普通角閃石とザクロ石から成り、少量のスピネル、斜方輝石、サフィリンを伴う。普通角閃石は粗粒（粒径約1 cm）で、多角形等粒状であり、組織平衡に達していたと考えられる。

コロナの厚さは最大10mmに達し、大部分は斜方輝石、斜長石、スピネルのシンプレクタイトからなる。これら3種の鉱物は、ザクロ石の表面からほぼ垂直の方向に伸びた不定形を呈する。スピネルは、斜方輝石の内部あるいは表面に産し、斜長石と接することがあるが、斜長石の内部には出現しない。コロナ内部のザクロ石直近にゼードル閃石を伴うことがある。

マトリックスのスピネル、斜方輝石はMgに富み（図の三角）、ザクロ石中のそれらはFeに富む（図の黒丸）。コロナを構成する斜方輝石、スピネルのMg/Feは両者の間（図の白丸）で、ザクロ石に向かってFeに富む傾向にある。このような組成変化があるものの、ほぼ一定の分配係数をもつ。

コロナ内部にFe, Mgの濃度勾配が見られることは、組織が拡散律速で形成されたことを示す。拡散律速では局所平衡が達して

いたと考えられるので、一定分配係数はコロナ形成時の組成を凍結しているとみなすことができる。そこで、接触するザクロ石と普通角閃石の組成を用いて温度を推定すると、690℃と見積もられた。



コロナ形成は $\text{CaO-FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系で以下の自由度2のいずれかの連続反応で記述できる。

ザクロ石+普通角閃石 = 斜方輝石+斜長石+スピネル+流体

ザクロ石+普通角閃石 = 斜方輝石+斜長石+スピネル+ゼードル閃石

組織平衡に達した普通角閃石が反応物となっていることより、この反応は後退変成作用時に生じたと考えられ、その時の温度が690℃であったとみなすことができる。

引用文献

- Hiroi Y. et al. (1986) Mem Natl Inst Polar Res Spec Issue 43, 62-84
Yanai K. et al. (1984) Antarct. Geol. Map Ser., Sheet 20. Natl Inst. Polar Res.

東南極,日の出岬の変成トーナライトの成因 :特にマグマの結晶作用について

孫羽・廣井美邦 (千葉大・理)・大和田正明 (山口大・理工)

Origin of meta-tonalites at Cape Hinode, East Antarctica,

with special reference to fractional crystallization

Sun Yu, Hiroi Yoshikuni (Chiba Univ.), Owada Masaaki (Yamaguchi Univ.)

日の出岬はプリンスオラフ海岸東部に位置する。ここに分布する主要な岩石は中期原生代の変成トーナライト岩である。このトーナライト岩中には塩基性—中性のグラニュライトの岩塊が産出する。これらは周りの後期原生代—早期古生代のリュツォホルム岩体構成岩類とは異なっており、異地性岩体である可能性が高い。(Hiroi et al. 2006)

日の出岬には、20Km² 程広く地域で変成トーナライトが露出する。苦鉄質グラニュライトの産状は主に二種類に分けられる: a, 孤立 レンズ b, 変成トーナライト岩体に挟まれる薄層。

変成トーナライトの鉱物のモード組成の変化幅は広い: Pl (50—80%), Qtz (10—40%), Bt (0.1—15%), Hbl (0—14%), 不透明鉱物 (0—3.6%), 色指数(3.1%—33.7%)。Fig. 1 にモード組成を示す。

変成トーナライトの顕微鏡観察の結果、次のような特徴が明らかになった: Pl+Qtz+Bt+Hbl の鉱物組合せが卓越し、さらに少量の Opx と Cpx が見られることもある。副成分鉱物として Ilm, Mag, Apt, Rut, Zrn などに伴う。これらの他に外来結晶として Grt と Ky が見られることもある。斜長石は一般に半自形—他形で、双晶とアンチパーサイト構造を示す。多数の微細で鑑定不能の透明及び不透明鉱物を包有する。石英は他形で、波状消光を示すことが多い。微細な包有物が含まれていることが多く、それらは点状から線状に連なる場合もある。また多量の針状ルチルを含むこともある。ホルンブレンドは半自形—他形、不均質で、緑色のものから緑褐色のものまで多様である、しばしばチタン鉄鉱のラメラを含む。縁部が

黒雲母に部分的に交代されている場合が多い。黒雲母は半自形—他形で、薄片状、板状と鱗形で、中にチタン鉄鉱を包有することが多い。変質によって、緑泥石、白雲母と炭酸塩鉱物が生じる場合もある。輝石を含む岩石はホルンブレンドに富み、少量の黒雲母を伴う。単斜輝石は淡緑色、斜方輝石は淡赤色で、縁部を淡緑色角閃石に交代されていることがある。一方、苦鉄質グラニュライトの顕微鏡観察の結果は Hiroi et al. (2006) により詳しくに報告されている。

全岩化学組成の特徴を明らかにするために、山口大学機器分析センター設置の蛍光 X 線分析装置 (RIX3000) を使用して分析をした。分析結果から、全体として、SiO₂ (59~78wt%), Al₂O₃ (12.8~19.5wt%), Na₂O (2.9~4.77wt%), Na₂O /K₂O (2.14~11.48), MgO (0.11~2.52wt%), Mg#(13~52), TiO₂ (0.01 ~ 0.97wt%), MnO (0.01 ~ 0.09wt%), K₂O (0.38~1.38wt%) の特徴を示す。ASI は 0.93~1.08、A/NK は 1.79~2.23 である。また、SiO₂—FeO*/MgO 図では、カルクアルカリ系列に属している。CIPW ノルム鉱物の計算結果では、トーナライトの領域にプロットされるものが多い。微量元素 (Ba, Rb, K, Sr, Nb, P, Zr, Ti, Y) は、平均的な MORB で規格化したスパイダー図では、LIL 元素に濃集し、HFS 元素に乏しく、右下がりのトレンドを示す。以上の特徴は adakite の特徴に類似している。

苦鉄質グラニュライトの全岩化学組成は大きくばらつく、次のように: SiO₂ (46~55wt%), Al₂O₃ (5.3~11.5wt%), Na₂O (0.38~1.85wt%), K₂O

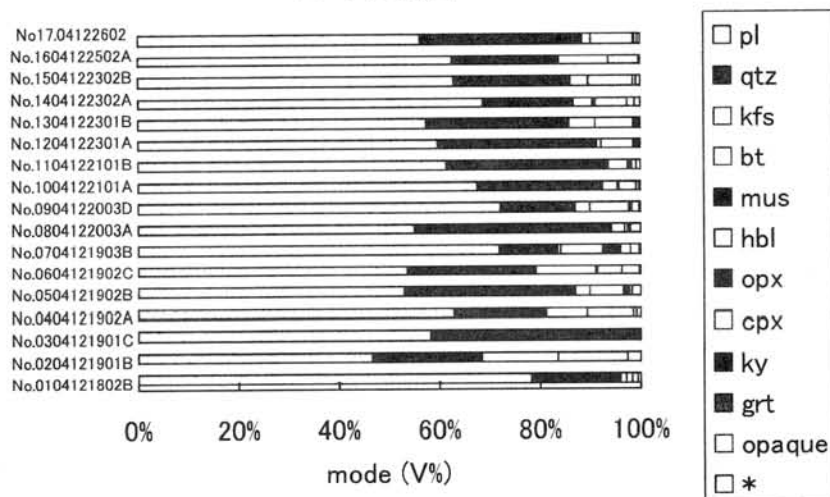
(0.45~1.69wt%), MgO (13.53~23.01wt%), Mg# (48~75), Cr (662~1746ppm), Ni (55~937ppm)。

変成トーナライトの全岩化学組成をハーカー図にプロットすると、SiO₂の増加に伴って、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、CaO、TiO₂、P₂O₅、Na₂Oのいずれも連続減少するトレンドを見られる。微量元素では、SiO₂の増加に伴って、Y、Zr、Cr、Vは減少するトレンドを見られる。モード組成—SiO₂図からは、SiO₂の増加に伴ってホルンブレンド、斜長石および不透明鉱物の量が減少し、石英が増加する。また、黒雲母はばらつく。YとCrの挙動でHblが減少することと調和している、Zr、Vについてはジルコンや不透明鉱物の影響もあるが、主にHblと不透明鉱物の分別結晶作用による結果と考えられる。Sr含有量はSiO₂と負の相関を示す。これは斜長石のモード変化と対応しており、斜長石の分別結晶作

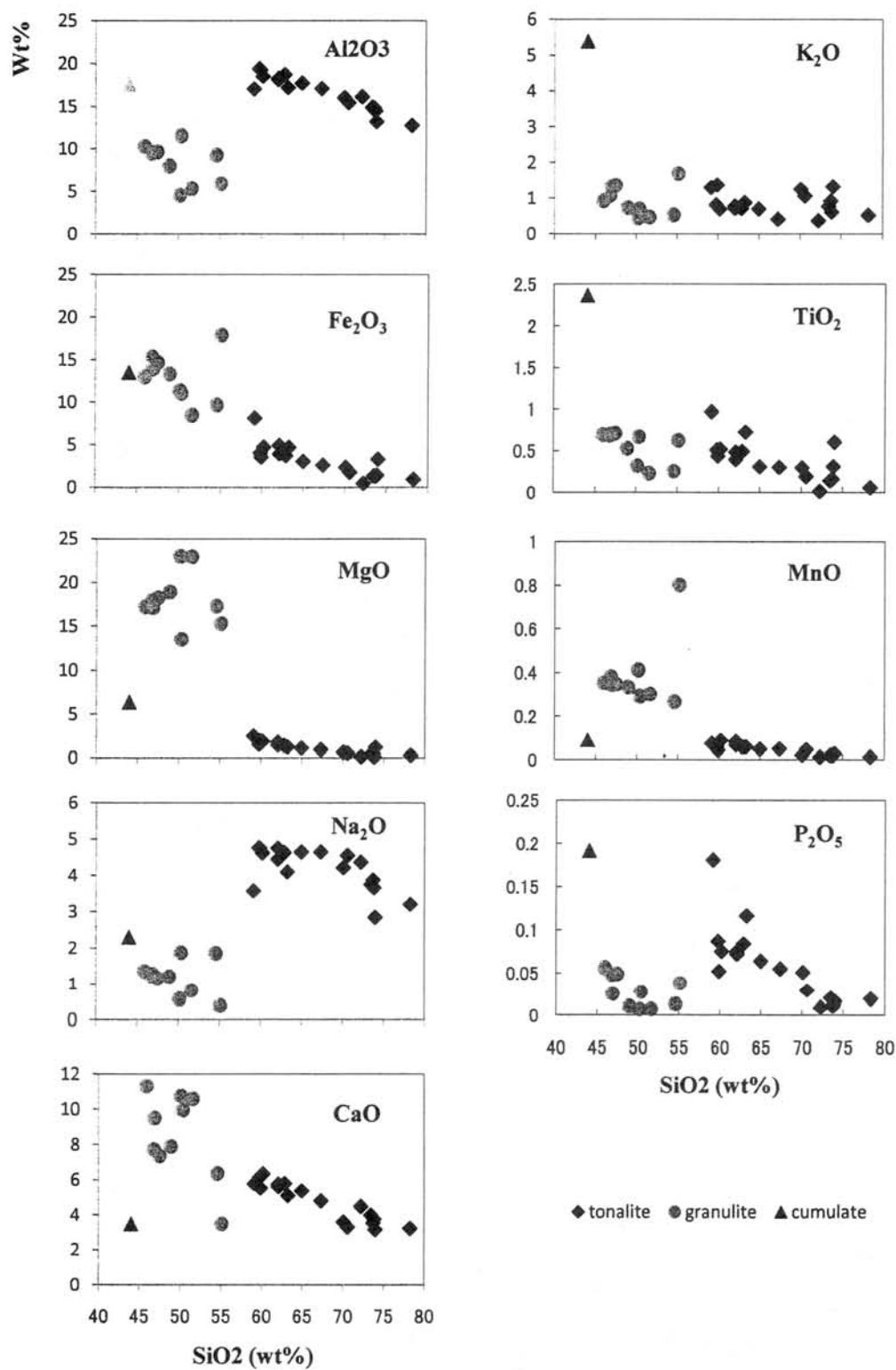
用に起因している。Ba、Rb含有量は分散が著しいが、それは黒雲母の量比の変化ことが分かった。また、Al₂O₃ — (FeO+MgO) 変化図中でも変成トーナライトは連続的に変化し、主要な分別鉱物は斜長石とホルンブレンドであることを示唆している。

以上のように、モード組成、全岩化学組成、モード—SiO₂図と鉱物組成との相関を見ると、変成トーナライトの組成幅は広いが、それは同じマグマからの分別結晶作用によるものと考えられる。変成トーナライト中に含まれるグラニュライトはより早期の分別結晶作用時の結晶集積岩である可能性と考えられる。

モード組成図



* : 粘土鉱物と炭酸塩鉱物



Carbon isotopic composition of graphite from Skallevikshalsen, Lützow Holm Complex, East Antarctica

H. So (Shizuoka University), M. Satish-Kumar (Shizuoka University),
Y. Motoyoshi (NIPR)

The Lützow Holm Complex (LHC), located in East Antarctica, is composed of high-grade metamorphic rocks, including pelitic and psammitic gneiss, mafic to intermediate and basic gneisses, subordinate lenses of ultramafic gneiss, marbles and calc-silicate rocks. The metamorphic grade of this complex increase from upper amphibolite facies to granulite facies from east to west and the whole terrain (except Cape Hinode region) has experienced a clockwise P - T path. The peak metamorphism in the LHC was estimated to be around 800°C and the peak pressure conditions were estimated to be 7-8 kbar. The timing of peak metamorphism has been estimated between 650 and 520 Ma. The Skallevikshalsen, located in the southwest of Syowa Station and in the granulite facies segment of LHC, is composed of high-grade metamorphic rocks such as garnet-biotite gneiss, pyroxene gneiss, skarn, quartzite, marble and calc-silicate rocks. The rocks exposed here are often graphite-bearing.

Graphite is commonly associated with metamorphic rocks of upper amphibolite facies to granulite facies in LHC. Graphite from eighteen samples from Skallevikshalsen comprising various kinds of gneisses, quartzite calc-silicate rocks and marbles, were analyzed in this study. Based on the mode of occurrence, we classified graphite into three types, vein-type (Fig. 1), small disseminate

flakes (mm scale) and coarse aggregates (cm scale). In addition, graphite concentration is also observed along the contact between marble and country gneiss (Fig. 2). The concentration of disseminate flakes increases near the contact zone between marble and surrounding gneisses.



Figure 1 Vein type graphite cutting across gneiss near the contact between marble and gneiss at Skallevikshalsen.

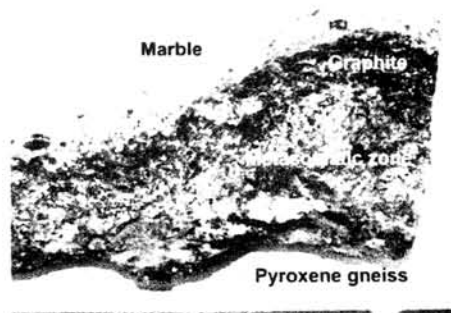


Figure 2 Graphite concentration at the contact between marble and pyroxene gneiss.

The results of the carbon isotope composition of graphite in various metamorphic rocks in LHC are compiled in Figure 3. The $\delta^{13}\text{C}$ values of graphite from various metamorphic rocks of the Skallevikshalsen display large variation (-1.8 to -17.2‰). Vein-type graphite yielded $\delta^{13}\text{C}$ values in the range of -3.5 to -6.0‰. Graphite-bearing felsic gneiss, pyroxene gneiss and metapelitic gneiss yielded $\delta^{13}\text{C}$ values in the range of -4.6 to -17.1‰. Calc-silicate rocks yielded $\delta^{13}\text{C}$ values in the range of -1.8 to -4.6‰, whereas graphite within marbles range

between -1.4 and -3.4‰. Graphite-bearing quartzite yielded $\delta^{13}\text{C}$ values in the range of -2.7 to -6.4‰.

Earlier studies have suggested that the $\delta^{13}\text{C}$ values of -25‰ \pm 5‰ for graphite in meta-sedimentary rocks indicate that the graphite was formed by the conversion of organic material during metamorphism (Santosh and Wada, 1993). However, the $\delta^{13}\text{C}$ values of metamorphic rocks of the Skallevikshalsen indicate remarkably high $\delta^{13}\text{C}$ values.

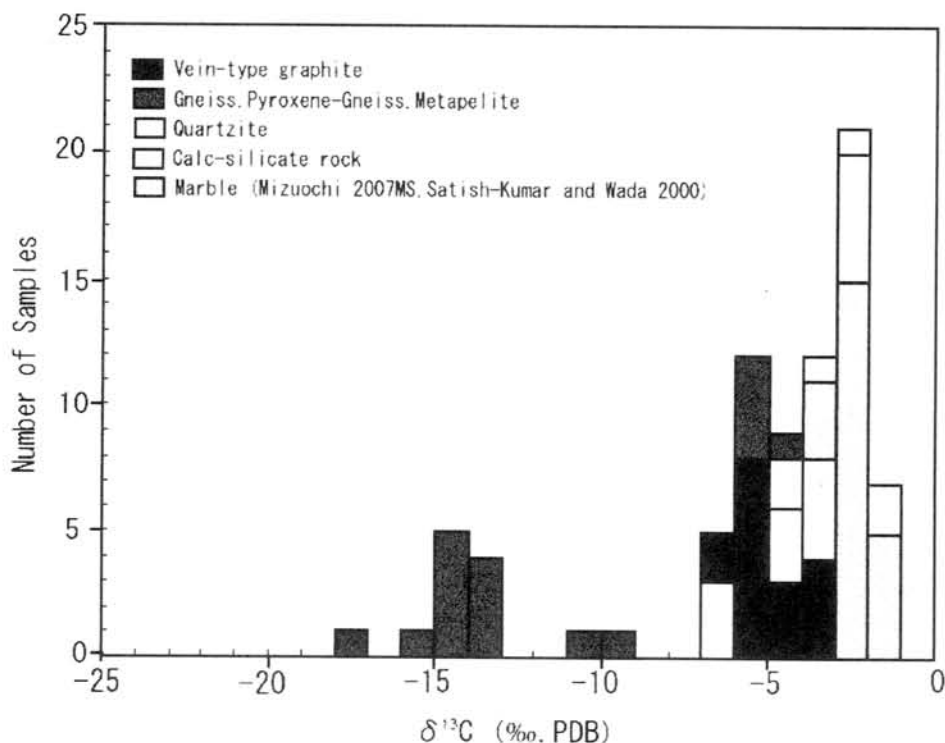


Figure 3 Carbon isotope compositions of different types of graphite from Skallevikshalsen. Note that the $\delta^{13}\text{C}$ values are having a bimodal distribution. $\delta^{13}\text{C}$ values concentrated near -5‰ are supposed to have formed from CO_2 released from the decarbonation of marbles, whereas the values near -15‰ are supposed to have evolved from a biogenic source.

Carbon stable isotope of graphite-bearing metamorphic rocks is also a potential technique to investigate fluid-rock interaction (Santosh and Wada 1993). Graphite associations at Skallevikshalsen show extreme ^{13}C enrichment. The ^{13}C -enriched compositions of graphite suggest precipitation from CO_2 -rich fluids that infiltrated into deep crustal segment as suggested in Santosh and Wada (1993) for the Kerala Khondalite Belt of Southern India. However, there is no clear consensus over the source of CO_2 in the deep crust. In general, three candidates are suggested; 1) Mantle 2) Carbonate and 3) Biogenic carbon. In the case of LHC, earlier studies have suggested that during retrogression the P - T fluid evolution a shift in fluid composition from moderate CO_2 during peak to high CO_2 in the early retrograde and low CO_2 in the last phase (Satish-Kumar et al., 2006). However, the source of the CO_2 was not clear.

In order to understand the source carbon isotope composition, we should consider the carbon isotope fractionation behavior between calcite, graphite and CO_2 , the three carbon-bearing phases present at Skallevikshalsen, and elsewhere in continental crust. The carbon isotope fractionation between

calcite, graphite and CO_2 is dependant on temperature (Chacko et al., 1991), and here we consider the fractionation values at 800°C . For example, if we consider marbles as a source of CO_2 , then the $\delta^{13}\text{C}$ values of marble is about 0‰ and the CO_2 released from marbles by the formation of calc-silicate minerals is around 2~3‰ and $\delta^{13}\text{C}$ values of graphite precipitated from this CO_2 will be around -5‰.

The $\delta^{13}\text{C}$ values of graphite from Skallevikshalsen show a bimodal distribution. $\delta^{13}\text{C}$ values concentrated near -5‰ are supposed to have formed from CO_2 released from the decarbonation of marbles, whereas the values near -15‰ are supposed to have evolved from a biogenic source. However, we were not able to find any evidence of the involvement of mantle derived CO_2 fluids at Skallevikshalsen.

References

- Chacko T. et al. (1991) *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55, 2867-2882
- Santosh M. and Wada H. (1993) *Journal of Geology* 101, 643-651
- Satish-Kumar M. and Wada. H. (2000) *Chemical Geology* 166, 173-182
- Satish-Kumar M. et al. (2006) *Journal of Metamorphic Geology* 24, 241-261

Laser ablation sulfur isotope analytical system at Shizuoka University

R. Yamazaki, J. Matsuda, A. Takano, M. Satish Kumar and H. Wada
(Shizuoka University)

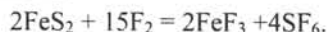
Sulfur isotopes have been widely used as tracers in the study of igneous, sedimentary, hydrothermal, and biologic process on the Earth (Ohmoto and Goldhaber, 1997). Measurements of sulfur isotope ratios are usually performed using gas-source mass spectrometry in the form of SO_2 or SF_6 gas. The latter is preferred for high-precision sulfur isotope analysis because SF_6 has no spectral interferences from oxygen species and no memory effects (Rees, 1978).

Recent developments in technology have helped us to understand the chemical and isotopic composition of materials to micrometer scale. Laser based analytical systems have helped in this respect. We have built a laser fluorination system at Shizuoka University for high-accuracy, high-precision multiple sulfur isotope analyses with improved spatial resolution. In this presentation, we describe the structure of the system for SF_6 analysis, which is composed of SF_6 -vacuum line, femto-second laser and mass spectrometer (MAT-251) and report dispersion of delta-mean values for the standard SF_6 gas.

We constructed a vacuum line "SF₆-Line", which is made up of 3/8 inch electroplated stainless steel pipe connected by Swagelok® pipe fittings and computer controlled pneumatic

valves. SF₆-Line is composed of a reaction chamber, SF₆-standard gas reservoirs, KBr reaction device, liquid N₂ gas traps, fluorine reservoir and capacitance manometer (modified after Hu et al., 2003).

Two types of reaction chambers are installed; 1) Femto-second laser ablation reaction chamber, which can hold polished samples and 2) Nickel tube chambers for powder samples. SF_6 gas is produced by the reaction of sulfide minerals with elemental fluorine in reaction chamber. A typical fluorination reaction is



Femto-second laser system of Spectra-Physics® composes four parts; Millennia Pro, Empower, Tsunami and Spritfire Pro. Millennia Pro and Empower produces laser beams and Tsunami converts the laser to required wavelength and pulse width (100fs). Spritfire Pro is the amplifier system, which amplifies the energy of the laser to 1 mJ.

We carried out initial experiments to obtain best laser condition of ablation in various sulfide minerals, by varying the pulse duration, ablation time and distance between sample and lens. Ablation spots were observed using a scanning electron microscope (SEM). An example is shown in Figure 1, which is laser pit in pyrite of about 200 μm in diameter. Using a focused beam, we were

able to ablate pits as small as 50 μm , however, the pit size is controlled by the minimum volume of SF_6 gas produced. We also verified SF_6^{5+} peaks, produced by laser fluorination using the mass spectrometer scans.

However, the MAT-251 mass spectrometer at Shizuoka University cannot analyze SF_6 for all the four sulfur isotopes simultaneously, because the collectors can not be positioned to get an overlap of all isotopes of SF_6^{5+} (127, 128, 129, 131 corresponding to 32, 33 34 and 36 of sulfur). We have re-built the collectors to be able to analyze SF_6 . At present, we are able to analyze $\delta^{34}\text{S}$ values of SF_6 standard gas, and we are in the process of modifying the collector assembly for simultaneous measurement of $\delta^{33}\text{S}$, $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{36}\text{S}$ values.

As a preliminary test we measured $\delta^{34}\text{S}$ of standard SF_6 gas (using same gas for both standard and sample inlet) continuously for more than 3 hours [$\delta^{34}\text{S}(\text{‰}) = \{(^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{sa}} / (^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{std}} - 1\} \times 1000$]. The result should be 0‰. In fact, the raw data is $0.07 \pm 0.02\text{‰}$, which is very good precision for studies using $\delta^{34}\text{S}$ in natural samples (Fig. 2).

As a further assignment, we must adjust mass spectrometer to analysis SF_6 prepared from natural sulfide minerals. Preliminary experiments have been conducted and results are encouraging. We are in the process of finding out the optimum experimental conditions for laser ablation and production of SF_6 gas. Also, experiments are being carried out to decide sample size and a method to purify the SF_6 gas, so as to measure small volume samples.

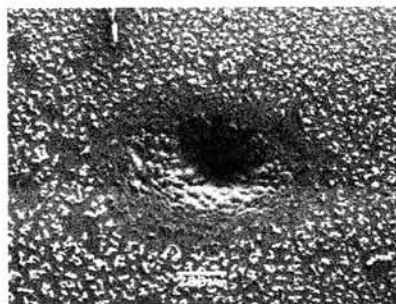


Figure 1 Scanning electron microscope (SEM) image of a laser pit on pyrite single crystal. Laser conditions are; pulse = 50Hz; time = 2min.; distance between sample and lens = 90mm (defocused; $f=100\text{mm}$). The scale bar is 200 μm .

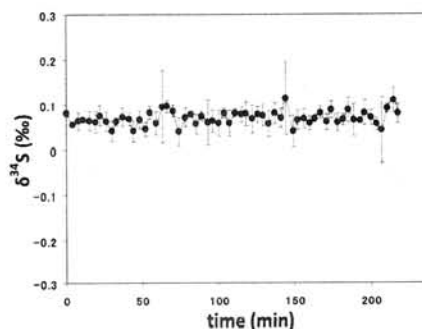


Figure 2 $\delta^{34}\text{S}$ value as a function of time

References

- Hu et al., 2003, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 76, 3101-3117.
- Ohmoto, H & Goldhaber, M. B. 1997, In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. (ed. H. L. Barnes) John Wiley, New York pp. 517-611.
- Rees, C. E. 1978, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 383-389.

東南極，ナピア・レイナー境界付近の花崗岩質岩の Sr, Nd 同位体組成

加々島慎一・和田裕起 (山形大学)

Sr and Nd isotopic compositions of granitic rocks around boundary between

Napier and Rayner complexes, East Antarctica

Shin-ichi KAGASHIMA and Yuki WADA (Yamagata Univ.)

太古代及び原生代の大陸地殻の形成と進化を解明することは、地球史を解く上で重要なテーマの一つである。ナピア岩体は、約 40 億年一の年代を示す火成岩起源の片麻岩が分布している。一方、隣接するレイナー岩体では、西岸で 540–520 Ma、内陸部で 760–1,320 Ma の年代値が報告されている (Shiraishi et al., 1997)。これは、ナピア及びレイナー岩体が初期大陸地殻の形成と、その後の進化を研究する上で適したフィールドであり、各岩相の成因を明らかにすることで、太古代から原生代にかけての大陸地殻形成を考察することが可能である。本研究では、ナピア岩体 4 地点 (Fyfe Hills: FH, Geoffrey Hills: GH, Mt. Bergin: MB, Mt. Cronus: MC) 及びレイナー岩体の 2 地点 (Forefinger Point: FP, Mt. Lira: ML) の岩石試料を用いて、岩石記載、全岩・鉱物化学分析、同位体比測定を行ない、各岩相の起源と成因を明らかにすることを目的としている。なお、表題の「花崗岩質岩」には、チャーノカイトを含めている。

FH における花崗岩質片麻岩は、非アルカリ岩系とアルカリ岩系の境界付近にプロットされる。これらは太古代 TTG の組成領域に入り正の Eu 異常を持つものと、太古代以降の TTG の組成領域に入り負の Eu 異常で HREE に富むものとに細分できる。いずれもその原岩は、火山弧花崗岩の性質をもつ。アルカリ岩系に領域にプロットされる試料は、衝突帯花崗岩の性質をもつ。石英長石質片麻岩は、非アルカリ岩系に区分され、太古代以降の TTG の組成領域に入り、正の Eu 異常をもつ。その原岩は、火山弧花崗岩の性質をもつ。青みがかった特徴を持つ石英長石質片麻岩は、非アルカリ岩系に区分され、HREE に富み、負の Eu 異常をもつ。その原岩は、中央海嶺花崗岩の性質をもつ。斜長石-アルカリ長石ソルバス温度計を用いた結果、初生的なアルカリ長石の平衡温度は約 1000°C であると算出された。

チャーノカイトは、FH, GH, MB, MC の 4 地点で確認され、すべて非アルカリ岩系に区分される。GH は太古代

TTG の性質をもち、その他は太古代以降の TTG の性質をもつ。REE パターン図においては、MC のみに正の Eu 異常が見られる。GH 及び MB の原岩は火山弧花崗岩の性質をもち、MC はプレート内花崗岩の性質をもつ。MC を除く 3 地点のチャーノカイトには、比較的大きいアパタイトが含まれており、ハーカー図において FH のチャーノカイトが CaO 及び P₂O₅ に富むことと、MB のチャーノカイトが CaO に富むことに関係している。

FP における花崗岩質片麻岩は、太古代 TTG の組成領域に入り、HREE に乏しいものと、太古代以降の TTG の組成領域に入り HREE に富むものとに細分でき、いずれも正の Eu 異常をもつ。それぞれの原岩は、火山弧花崗岩と衝突帯花崗岩の性質を持つ。

ML における花崗岩質片麻岩は、斜長石に非常に富む特徴がある。アルカリ岩系に区分され、太古代 TTG の組成領域に入り、正の Eu 異常をもつ。その原岩は、火山弧花崗岩の性質をもつ。

各岩相の Sr, Nd 同位体比を測定した結果は次の通りである。ナビア岩体の片麻岩類については、 ϵ 値を計算する際の年代を 2500 Ma とした。FH の花崗岩質片麻岩は ϵ Sr=+400~530 ϵ Nd=5~7、石英長石質片麻岩は ϵ Sr=+200, ϵ Nd=5、チャーノカイトの ϵ Sr は、FH=+125, GH=+37, MB=+22~+24, MC=+82~149 と GH と MB は比較的に通っている。しかし、 ϵ Nd 初生値をみると、FH=5, GH=2

~3, MB=+1~1, MC=3~5 と幅広い組成範囲を示す。

レイナー岩体の FP と ML は 550 Ma で計算した。FP は ϵ Sr=+647~684, ϵ Nd=-40~43 の狭い範囲にある (1 試料は ϵ Sr=+446 ϵ Nd=34 で、他と異なる)。一方 ML は ϵ Sr=+638, ϵ Nd=17 と、 ϵ Nd 初生値が大きく異なる。

ϵ 初生値の重なる試料を選択し、アイソクロンを引いてみると、MC のチャーノカイトは、ナビア岩体の超高温変成作用の時期として報告されている年代値と近い 2323 \pm 191 Ma (Rb-Sr 全岩) 及び 2294 \pm 73 Ma (Sm-Nd 全岩) アイソクロン年代が得られた。FP では、誤差が大きいが、参考値として 700 \pm 137 Ma (Rb-Sr 全岩), 529 \pm 67 Ma (Sm-Nd 全岩) が得られた。

ナビア岩体の片麻岩類の Nd モデル年代 (t_{DM}) は、FH: 2.8~3.4 Ga, GH: 2.7~2.8 Ga, MB: 2.3~2.7, MC: 3.3~3.7 Ga という結果が得られた。ナビア岩体の中心部に近い MC が最も古く、レイナー岩体に近づくにつれて若いモデル年代が得られた。もしこの年代差と空間位置に意味があるとすれば、ナビア岩体 (大陸地殻) の成長過程を示しているのかも知れない。

西エンダービーランドの原生代レイナー岩体、太古代ナピア岩体の 古地磁気測定

石川尚人 (京都大)

Paleomagnetic measurements of the Proterozoic Rayner and Archaean Napier complexes in the eastern Enderby Land

N. Ishikawa (Kyoto Univ.)

太古代ナピア岩体、原生代レイナー岩体の岩石を対象として、超大陸の形成史やそれに伴う東南極大陸の挙動、また先カンブリア紀の古地球磁場強度など地球磁場変動に関する古地磁気情報を得るために古地磁気学的研究を行っている。

リーセルラルセン山地域のナピア岩体に貫入する塩基性貫入岩類を57地点で採取し古地磁気測定を行った結果、27地点において、段階的消磁実験の高消磁段階(約500-550℃)で安定な磁化成分の方向が得られた。貫入岩類はそ化学組成から4タイプにわけられ(鈴木他, 2000)、安定成分の方向は各々のタイプ毎に特徴的なものであった。また、Type-Bでは2方向が認められた。各地点の仮想的な地磁気極(VGP)から得られた各タイプ毎のVGPの平均方位は、東ゴンドワナ大陸に対して推定されている見かけの極移動曲線(APWP)の約10億年前、約5億年前の曲線部とは一致しない(図1)。このことは、得られた安定成分には、レイナー岩体、リュツォ・ホルム岩体に関わる変動の影響がなく、貫入岩類の形成期の古地磁気情報である可能性を示唆する。Type-Aの貫入岩類からは約12億年、Type-C, Dの貫入岩類からは約19億年の年代値が報告されている。Type-A, C, Dの古地磁気極は、オーストラリアと東南極大陸がゴンドワナ大陸配置でいると仮定した場合のオーストラリアのAPWPの約12億年前、約19億年前の曲線部分とは一致しない。よって、各年代においてナピア岩体を含む地塊は、ゴンドワナ大陸配置とは異なる配置をしていた可能性が示唆される。しかし、この貫入岩類の安定成分の磁化獲得時期を推定するために、K-Ar/Ar-Ar法など低閉鎖温度の放射年代測定が必要である。

ケーシー湾周辺の10露岩域の20地点から得られた試料(片麻岩類、花崗岩類、塩基性貫入岩類)の古地磁気測定では、概ね3つの安定な磁化成分、低消磁段階成分(L:約200-300℃~300-400℃)、中消磁段階成分(I:約300-400℃~500℃)、高消磁段階成分(H:約500-550~580℃)、が認められた。その安定成分の中には、採取地点でよくまとまるものがあり、各地点での特徴的な残留磁化成分と考えられる。それらのVGPを図2に示す。

L, I成分のいくつかは東ゴンドワナ大陸の約5億年前の古地磁気極と同様の方向を示すものがある。約5億年前の変動の影響が示唆される。レイナー岩体のCondon Hills (CH), Mt. Yuzhnaya (MY)の花崗岩類から得られたVGPは良い集中を示す。Condon Hillsの花崗岩類からは、769~528Maの年代値が報告されている。いずれの年代値に基づいてもCH-MYのVGPは東ゴンドワナ大陸のAPWPとは異なる傾向が見られる。Geoffrey Hills (GH)の貫入岩類のH成分のVGPは、リーセルラルセン山の貫入岩類の方向に近い。ナピア岩体のMt. Cronus (MCR), Mt. Bergen (MB)の片麻岩類のH成分のVGPは、同様の傾向を示す。但し、リーセルラルセン山地域の貫入岩類の方向に近く、その火成活動の影響の可能性を検討しなければならない。

分、低消磁段階成分(L:約200-300℃~300-400℃)、中消磁段階成分(I:約300-400℃~500℃)、高消磁段階成分(H:約500-550~580℃)、が認められた。その安定成分の中には、採取地点でよくまとまるものがあり、各地点での特徴的な残留磁化成分と考えられる。それらのVGPを図2に示す。

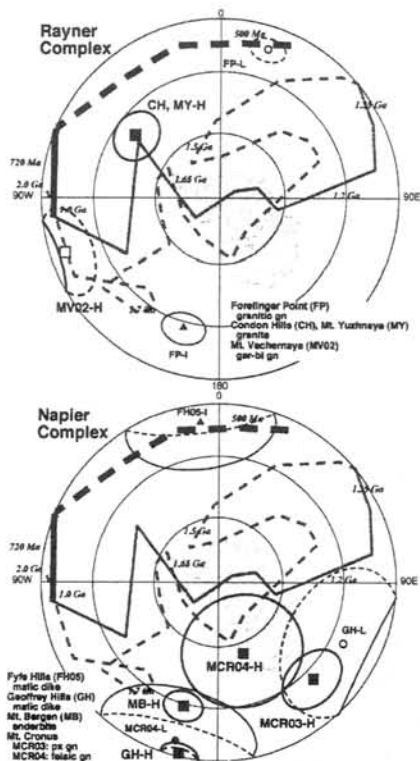


図2. 安定磁化成分から求めた仮想的な地磁気極の地点平均方位 [高(H), 中(I), 低(L)消磁段階成分]

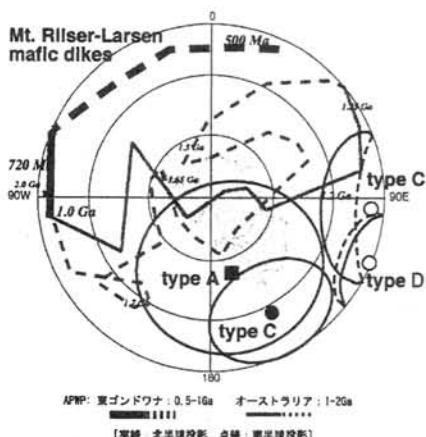


図1. リーセルラルセン山地域の塩基性貫入岩類から求めた仮想的な地磁気極のタイプ別平均方位

超高温変成岩に含まれる CO_2 および $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 包有物の 産状からみた流体の起源：東南極ナピア岩体の例

角替敏昭（筑波大・生命環境）・M. Santosh（高知大・理）

CO_2 and $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ fluid inclusions in ultrahigh-temperature metamorphic rocks
from the Napier Complex, East Antarctica: implications for the origin of fluids

Toshiaki Tsunogae (Univ. Tsukuba), M. Santosh (Kochi Univ.)

900℃を超える高温の変成作用を受けた超高温変成岩は、一般的にサフィリン+石英、スピネル+石英、斜方輝石+珪線石+石英などの無水の鉱物組み合わせによって特徴づけられることが知られている。このような低い水の活動度が推定されることは、超高温変成岩の鉱物中に初生的に含まれる流体包有物のほとんど全てが純粋な CO_2 であることと調和的である（例えば Tsunogae et al., 2002, CMP など）。このように天然で観察されるような純粋な CO_2 包有物の成因については諸説あるが、様々な地域において広域的な CO_2 流体の流入が指摘されている（例えば Newton et al., 1990, JMG など）。一方、もともとは $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合流体であった流体の中から、部分溶融によって H_2O が選択的に除去され、その結果として純粋な CO_2 流体のみが残っていると考えるもある（Lamb et al., 1987, CMP）。したがって、岩石中に含まれる CO_2 流体の成因を明らかにするためには、異なる岩相ごとの流体組成の違いを検討する必要がある。

そこで本研究では、東南極ナピア岩体バント島に産出するサフィリングラニュライトの流体包有物の研究を行った。この地域にはサフィリン+石英の共生を持つ 1000℃を超える超高温変成岩が分布しており（Osanai et al., 2001, Polar Geosci.）、ざくろ石および石英中には高密度の CO_2 包有物が含まれることが報告されている（Tsunogae et al., 2003, Polar Geosci.）。また、ざくろ石に含まれる一部の高密度 CO_2 包有物には、炭酸塩鉱物（ドロマイト）とグラファイトが含まれる。ドロマイトの存在は、炭酸塩メルトを含む CO_2 流体の流入と考えられる。一方、

グラファイトは冷却過程での包有物内部の反応による生成物の可能性が高い（Tsunogae and Dubessy, 2009, JMPS）。

本研究により、石英中に含まれる $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合流体の存在が明らかになった。この岩石はざくろ石+サフィリンに富む優黒色部と、石英+大隅石+斜方輝石に富む優白色部に区分され、 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合流体を含む石英は優白色部に存在する。一方、純粋な CO_2 流体は優黒色部にのみ存在する。優白色部の石英および斜方輝石は粗粒であり、一部の斜方輝石は自形の結晶面をもつことから、これらは部分溶融の生成物である可能性が高い。 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合流体包有物は粗粒（~20 ミクロン）で、初生的な包有物として産出する。したがって、この $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合流体包有物は、超高温変成作用時の部分溶融によって形成されたケイ酸塩メルト中に含まれ、その結晶化作用時に石英中に包有された可能性がある。この H_2O 流体が部分溶融前の岩石からもたらされたのか、あるいは外部から浸透したのかは不明であるが、前者の場合、もともと全ての岩相中に存在していた $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 混合流体の H_2O が、部分溶融によってメルト部に濃集した可能性がある。その場合、Lamb et al. (1987) が指摘したように、初生流体包有物の組成が改変された可能性がある。今後、より詳細な岩相ごとの流体包有物の研究が必要である。

東南極シルマッヘル地域に産する塩基性片麻岩類の 全岩化学組成

馬場壮太郎(琉球大・教育)・足立達朗(総研大)・中野伸彦(九州大・比較文化)・
外田智千(極地研)・豊島剛志(新潟大・理)・小山内康人(九州大・比較文化)

Whole rock geochemistry of mafic gneisses in Schirmacher region, E. Antarctica

Sotaro BABA (Univ. Ryukyus), Tatsuro ADACHI (SOKENDAI), Nobuhiko NAKANO (Kyushu Univ.), Tomokazu HOKADA (NIPR),
Tsuyoshi TOYOSHIMA (Niigata Univ.), Yasuhiro OSANAI (Kyushu Univ.)

東南極、中央ドロンイニングモッドランド(CDML)は、東ゴンドワナと西ゴンドワナの衝突により形成された変動帯である。Jacobs et al.(2003)は、この衝突による造山運動をEast Africa - Antarctic Orogen(EAAO)と呼び、東アフリカ、マダガスカル、南インドに連続することを示した。この造山運動により、CDMLの内陸山地域では約560Maに衝突、その後約520~490Maに造山帯の崩壊(orogenic collapse)、および多量のA-type花崗岩類の貫入が生じた。

シルマッヘル地域はCDMLのプリンセッセ・アストリ海岸(東経11°30'~11°50', 南緯70°45')に位置し、同地域には東西20km、南北3kmにわたり高度変成岩類が露出する。CDML内陸山地群(標高2500~3000m、東西約400km)は、その海岸線から約100~150kmに位置するが、シルマッヘル地域はCDML内陸山地群と同一の進化発達を経たとこれまで考えられてきた(Ravikant et al., 1998; Sengupta, 1993)。しかし、その変成作用や変成年代が内陸山地群とは異なることから(Baba et al. 2003; Mikhalsky et al. 2003; Ravikant et al. 2004; Baba et al., 2006, 2008)、シルマッヘル地域を東アフリカのLurio帯や東DMLのセールロンダーネ産地に対比するモデルが提案されている(Ravikant et al., 2004; Grantham et al., 2008; Shiraishi et al., 2008)。近年、CDMLではSHRIMPジルコン年代測定が進み多くのデータが公表されているものの、岩石成因などの地質学的情報は乏しく、原岩形成場や変成作用の特徴を踏まえた進化発達についての議論は充分とはいえない。

Baba et al. (2008)はシルマッヘル地域と内陸山地に産する含ザクロ石塩基性片麻岩の変成組織に基づき、前者は超高温条件から等圧冷却を、後者は高压から減圧加温を示すことを明らかにした。松下ほか(2007)はCDML内陸山地に産する塩基性片麻岩類の全岩化学組成について予察的な報告を行った。その結果、蛍光X線分析による主要・微量元素の特徴は、Filchnerfjella地域=島弧玄武岩、Jutulsessen地域=プレート内玄武岩、Hochlinfjella地域=中央海嶺玄武岩に類似した組成をそれぞれ示すことから、内陸山地を構成する塩基性片麻岩類の原岩は多様なテクトニック場で形成したことを指摘した。Ramesher Rao et al.(2001)はシルマッヘル地域に分布するマフィックグラニュライトにはNbの負異常が認められることから、その原岩は沈み込みに関連する火成作用に由来することを報告した。しかし、彼らの結果は全岩化学組成の平均値に基づくものであり、個々の岩石について再検討する必要がある。そこで本研究で

はCDMLに分布する変成岩類の原岩形成場を広域的に把握し、その特徴から地殻発達過程を考察することを目的として、シルマッヘル地域に分布する塩基性片麻岩についてもCDML内陸山地と同様の分析を行った。

全岩化学組成分析の対象とした試料はシルマッヘル露岩域東部のノボラザレフスラヤ基地-マイトリ基地間(約3.5km)に露出する塩基性片麻岩類である(第49次日本南極地域観測隊・セールロンダーネ山地地質調査隊にて採取)。これらは角閃石-斜方輝石片麻岩、ザクロ石-単斜輝石-ホルンブレンド片麻岩、ザクロ石-斜方輝石±単斜輝石グラニュライトであり、層状ないしブロック状に珪長質片麻岩中(黒雲母、角閃石、ザクロ石を含む)に挟まれ産する。XRFによる全岩化学組成分析結果をまとめると以下ようになる。

- 1) シルマッヘル地域の塩基性片麻岩類はTi-V図において、多くの試料はプレート内玄武岩-MORBの領域に、Ti-Ni図ではMORB、OITの領域にそれぞれ区分される。Zr-TiO₂図では、プレート内玄武岩の領域にプロットされる。
- 2) Zr-Y-Nb判別図においても、プレート内玄武岩・島弧玄武岩の領域にプロットされものが多い。また、ブロック状に産するものは、N-MORB・島弧玄武岩の領域近くにプロットされる。
- 3) 測定した試料の#Mg値は30~50のものが多く、ザクロ石は#Mg値が40以下の塩基性片麻岩類に確認される。

今回測定した分析結果を内陸山地の塩基性片麻岩類と比較すると、Jutulsessen地域(プレート内玄武岩)に類似し、Filchnerfjella地域のそれとは異なっていることが明らかになった。また、EDMLのセール・ロンダーネ山地に分布する塩基性片麻岩類(Osanai et al., 1998)についても比較を行ったが類似した傾向は認められなかった。

大陸縁辺域における地殻の融解作用と花崗岩形成：

西南極マリーバードランド、フォスディックミグマタイト-花崗岩複合岩体の例

斉藤哲(JAMSTEC), F.J. Korhonen, M. Brown (University of Maryland), C.S. Siddoway(Colorado College)

Crustal anatexis and granite formation in a continental margin setting:
an example of Fosdick migmatite-granite complex, Marie Byrd Land, West Antarctica

S. Saito (JAMSTEC), F.J. Korhonen, M. Brown (University of Maryland), C.S. Siddoway (Colorado College)

地殻の融解作用とそれに続く花崗岩質メルトの分離・上部地殻への定置は、不適合元素に富む花崗岩質上部地殻と溶け残り物質に富む下部地殻への分化を引き起こす、大陸地殻の進化過程における重要なプロセスである。これまでアンデス山脈やヒマラヤ山脈などの造山帯の物理探査を通じ、造山帯深部地殻には部分融解メルトが広く存在すると考えられている(例えば Schilling & Partzsch, 2001, *Physics and Chemistry of the Earth*; Gokarn, & Spratt, 2005, *Nature*)。本研究では、沈み込み型造山帯における地殻の融解作用と花崗岩形成の深部プロセスを明らかにするために、ゴンドワナ大陸古太平洋縁辺に位置する西南極マリーバードランド、フォード山脈フォスディックミグマタイト-花崗岩複合岩体について、年代学的・地球化学的検討を行った。

フォード山脈には、後期原生代～カンブリア紀の付加体であるスワンソン層の変成堆積岩、デボン紀の沈み込み火成活動に伴い形成したフォード花崗閃緑岩体、白亜紀のバードコースト花崗岩体、およびフォスディック複合岩体が分布している。フォスディック複合岩体は、ミグマタイト化した正片麻岩・準片麻岩とそれに伴う花崗岩類および苦鉄質岩脈から構成されている。正片麻岩・準片麻岩の源岩はそれぞれスワンソン変成堆積岩とフォード花崗閃緑岩であり、フォスディック複合岩体は、白亜紀のゴンドワナ大陸分裂に伴い隆起・剝離され露出した深部地殻と考えられている (Siddoway et al., 2004,

Geological Society of America Special Paper)。

フォスディック複合岩体に分布する花崗岩類のジルコン U-Pb 年代には石炭紀と白亜紀のピークがみられた。当岩体はデボン紀～石炭紀の陸弧火成活動と白亜紀の大陸分裂に伴う複変成作用を経験しており (Korhonen et al., 2007, *Eos Trans. AGU*)、花崗岩類は複変成作用に伴う深部地殻の融解により形成したと考えられる。また、花崗岩類の Sr-Nd 同位体組成はスワンソン層変成堆積岩およびフォード花崗閃緑岩体と調和的であった。従って、付加体起源堆積岩と沈み込み火成活動に伴い形成した深成岩から構成される大陸縁辺深部地殻が、複変成作用に伴い白亜紀と石炭紀に部分融解し、フォスディック複合岩体の花崗岩類を形成したと考えられる。

苦鉄質岩脈およびバードコースト花崗岩体のジルコン U-Pb 年代は白亜紀を示し、バードコースト花崗岩体の Sr-Nd 同位体組成はフォスディック複合岩体の白亜紀花崗岩、フォード花崗閃緑岩体と調和的であった。従って、苦鉄質岩脈・フォード花崗閃緑岩体・フォスディック複合岩体の白亜紀花崗岩類・バードコースト花崗岩体は、それぞれ白亜紀の地殻融解を引き起こした熱源・起源物質・融解メルトのフィーダー帯・融解メルトの浅部固結相と解釈できる。苦鉄質岩脈の Sr-Nd 同位体組成はエンリッチしたリソスフェアマントル起源を示唆しており、大陸分裂に伴うマントルの上昇が深部地殻へ苦鉄質マグマを供給し地殻の融解を引き起こしたと考えられる。

Andalusite and corundum + quartz in pelitic migmatites from the Kerala Khondalite Belt, South India

Mutsumi Kato, Hyoe Mitsui, Yoshikuni Hiroi (Chiba Univ.),
M. Satish Kumar (Shizuoka Univ.), D. Dunkley (NIPR)

Aluminum silicates (kyanite, sillimanite and andalusite) are diagnostic minerals to define the pressure-temperature conditions of metamorphism. Especially, in pelitic granulites, the presence of kyanite or andalusite as inclusions in garnet or plagioclase with sillimanite in the matrix have long been considered as indicative of the clockwise or counter clockwise P-T paths, respectively (e.g. Hiroi et al., 1983). However, there have been several instances where two or even three phases of aluminosilicate exist in a single rock type (Clarke et al., 2005).

Similar to many regionally metamorphosed terrains, only sillimanite has been reported in pelitic rocks (especially those called khondalite) from the Kerala Khondalite Belt (KKB), South India, though magmatic andalusite in pegmatite was briefly reported (Braun et al., 1998). We report here, for the first time, the mode of occurrence of andalusite which we found in sillimanite-bearing pelitic migmatites from the KKB.

Pelitic migmatites consist of melanosome and leucosome. Andalusite occurs only in the leucosome.

Melanosome consists mainly of garnet + sillimanite + biotite + cordierite + quartz + alkali-feldspar + plagioclase + spinel. Well developed foliation is defined by preferred orientation of biotite and sillimanite. Sillimanite occurs as fibers and prisms in the matrix, being in contact with most of the constituent minerals. It also occurs as inclusions in garnet and cordierite. Garnet with or without sillimanite are replaced by cordierite to various degrees. Subhedral to euhedral spinel (green-brown color) occurs in the matrix, and occasionally in

direct contact with quartz.

Leucosome comprises quartz + alkali feldspar + plagioclase \pm cordierite \pm garnet \pm graphite \pm sillimanite \pm andalusite. Biotite is almost absent. Alkali-feldspar contains abundant inclusions of rounded to euhedral quartz.

Andalusite is partly pleochroic (pink to red), and its mode of occurrence is grouped into two types, I and II.

Type I andalusite is generally free of inclusions and shows subhedral to anhedral shape. It coexists with quartz, alkali feldspar and plagioclase, suggesting that andalusite is the most stable phase of aluminum silicate. Type I andalusite might have crystallized directly from partial melts during the cooling stage.

Type II andalusite has inclusions of albite which seem to be continuous with albite-lamellas in surrounding alkali-feldspar (Fig. 1). In addition, this type of andalusite is often associated with carbonate minerals (calcite, siderite and magnesite), suggesting that alkali feldspar reacted with CO₂-rich fluid to produce andalusite + albite + carbonate + quartz assemblage (Ellis & Hiroi, 1997).

Corundum in direct contact with quartz rarely occurs in association with type I andalusite within alkali feldspar (Fig. 2). Elemental maps suggest that it was formed metastably and simultaneously with andalusite, and survived within alkali feldspar most probably in the local absence of reaction medium fluid.

The occurrence of type I andalusite places constraint on the retrograde P-T path of KKB granulite.

References

- Braun, I et al. (1998) Electron microprobe dating of monazites from high-grade gneisses and pegmatites of the Kerala Khondalite Belt, southern India. *Chemical Geology*, **146**, 65-85.
- Clarke, D. B. et al. (2005) Occurrence and origin of andalusite in peraluminous felsic igneous rocks. *J. Petrology*, **46**, 441-472.
- Ellis, D. J. & Hiroi, Y. (1997) Secondary siderite-oxide-sulphide and carbonate-andalusite assemblages in cordierite granulites from Sri Lanka: Post-granulite facies fluid evolution during uplift. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **127**, 315-335.
- Hiroi, Y et al. (1983) Aluminum silicates in the Prince Olav and Soya Coasts, East Antarctica. *Mem. Natl Inst. Polar Res, Spec. Issue*, **28**, 115-131.

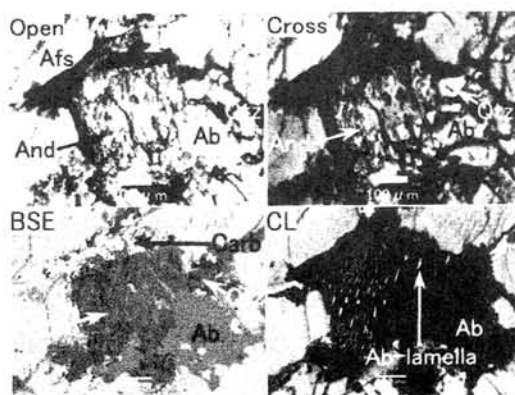


Fig. 1 Type II andalusite contains lamellar albite, which seem to be continuous with albite lamellas in surrounding alkali feldspar nearby (*Sp. MK08121901B*).

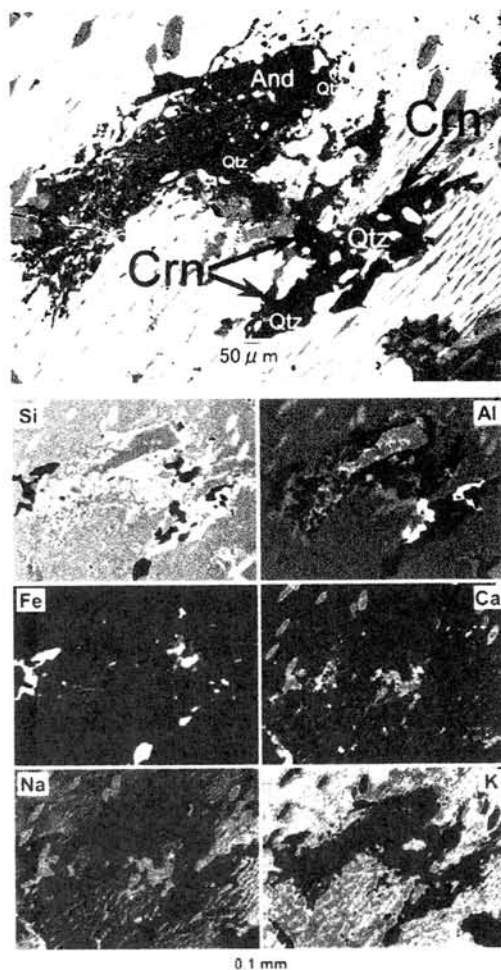


Fig. 2 Type I andalusite and corundum + quartz association within alkali feldspar in leucosome (*Sp. YH08121702*).

Elemental maps suggest that corundum + quartz was formed simultaneously with andalusite. (Analysed with the help of

T. Hokada).

And: andalusite, Crn: corundum, Afs: alkali feldspar, Qtz: quartz Ab: albite, Carb: Carbonate - minerals.

Mg 十字石の周囲に発達するサフィリン+石英コロナからみた 高圧-超高温変成作用：南インドの例

西宮ゆき・角替敏昭（筑波大・生命環境）・M. Santosh（高知大・理）

High-pressure and ultrahigh-temperature metamorphism of Mg-Al rock from southern India: evidence from sapphirine + quartz corona around magnesian staurolite

Yuki Nishimiya, Toshiaki Tsunogae (Univ. Tsukuba), M. Santosh (Kochi Univ.)

超高温変成作用を受けて形成された岩石には、サフィリン+石英、スピネル+石英、斜方輝石+珪線石+石英などの特徴的な鉱物組み合わせが見られる。中でもサフィリン+石英の組み合わせは超高温変成作用の最も有効な指標であるとされ、その安定領域は約 1000℃以上と考えられている (e.g., Kelsey et al., 2004)。本研究では、南インド Palghat-Cauvery 縫合帯 (PCSZ) から初めてサフィリン+石英の平衡な鉱物組み合わせが発見されたこと、それが Mg 十字石の周囲に発達するコロナであることから、PCSZ の高圧-超高温変成履歴の検討を行う。

南インド Palghat-Cauvery 縫合帯 (PCSZ) は、北部の始生代 Dharwar クラトンと南部のカンブリア紀グラニュライト帯との境界をなす構造帯であり、汎アフリカ造山運動後期の年代 (500-550 Ma) を示している。そのため、PCSZ に産する高度変成岩類は Gondwana 大陸形成後期ステージにおける南インドの地殻進化を解明する重要な手がかりとなることが期待される。過去の研究では、PCSZ はエクロジャイト相に近い高圧変成作用 ($P > 12$ kbar) を受けた後に、超高温変成作用 ($T = 940-990$ °C) を受け、時計回りの変成温度圧力経路をたどって形成されたと考えられている (e.g., Shimpō et al., 2006; Nishimiya et al., 2008)。しかし、PCSZ の超高温変成作用の示唆は地質温度圧力計によるものであり、直接的な証拠である鉱物組み合わせによるものではなかった。

本研究でのサフィリン+石英を含む岩石は PCSZ 内 Panangad 産の Mg と Al に富んだグラニュライトである。この岩石からは粗粒 (~26 mm) のザクロ石およびその周囲のゼードル閃石、さらに

サフィリン、コランダム、スピネルや後退変成作用でできた hōgbomite と黒雲母も観察される。十字石はザクロ石の包有物として見られ、細粒 (<0.7 mm) で、概ねサフィリンやサフィリン+石英コロナに取り囲まれている。ザクロ石と十字石周囲のサフィリンとの境界が不規則であることから、サフィリン+石英はザクロ石と十字石との反応で生成された組織であることがわかる。FMASH 系における反応は、



となる。また、生成物にある十字石の X_{Mg} が ~0.58 と高い値を示していることとサフィリン+石英がシンプレクタイトであることから、Sato et al. (2009) の実験により $P \geq 15$ kbar であるとされる Mg 十字石の安定領域からの急激な減圧があったことが推定される。

温度の計算は、ザクロ石とルチルが接していることから、ザクロ石中の Ti 含有量による地質温度計 (Kawasaki and Motoyoshi, 2007) を適用した。その結果、温度範囲は 1050-1070℃となり、サフィリン+石英の安定領域と調和する。

以上のことから PCSZ の温度圧力履歴は、15 kbar 以上の圧力からの急激な減圧を経て、1000℃以上の超高温変成作用を受け、減温減圧に至る時計回りのパスであることがわかった。

本研究と同様の組織は始生代の南アフリカのリンボポ帯で報告されており (Schreyer et al., 1984; Tsunogae and van Reenen, 2007, 2009)、形成年代は異なるが、沈み込みおよび大陸衝突で形成された超高温変成岩の高圧-超高温変成作用の共通の証拠であると考えられる。

スリランカ中央部, ハイランド複合岩体における結晶質石灰岩を
用いた変成温度の推定と同位体の挙動

長田雄佑(静大理研), K. V. W. Kehelpannala (スリランカ), 和田秀樹(静大理学部)

Estimation of metamorphic temperature and carbon isotope behavior using marbles
from Highland Complex, Sri Lanka

Y. Osada (Shizuoka Univ. Fac. Sci), K. V. W. Kehelpannala (Sri Lanka), H. Wada (Shizuoka Univ. Fac. Sci)

変成岩の到達温度を正確に推定することは、地球史の熱履歴を考察する上で非常に重要である。高温の変成作用を受けた結晶質石灰岩の変成温度を推定するための手法として、カルサイトドロマイトソルバス地質温度計や炭素同位体地質温度計が挙げられる。しかし、前者の温度計には、冷却時におけるドロマイトの離溶の形成に伴う再平衡が問題として生じ、後者の温度計に関しては、実験的、理論的、経験的に求められている温度計の較正曲線は未だに一致を見ず、また高温から超高温領域における経験的な較正曲線は得られていない。さらに、実験的に求められた温度計を天然の試料に適用すると他の方法によって推定された温度よりも高い温度が得られてしまう問題もある。

複数回の変成作用は、複数の熱履歴を上書きしたり、部分的に新たな平衡関係を記録するなど同位体の累体構造と平衡関係の解析の研究が必要であり、より微細な同位体の挙動解析がどうしても必要となる。

スリランカ、ハイランド複合岩体は全体的に超高温のグラニュライト相の変成作用を経験し、さらに、そこに産出する結晶質石灰岩にはカルサイトドロマイトーグラファイトの鉱物組み合わせが広く見られるため、高温から超高温の変成温度を推定する研究で用いることに適している。本研究は、結晶質石灰岩の変成温度を推定することと、高温から超高温領域における炭素同位体分別係数の温度依存性を検証しようと試みた。

研究方法としては、薄片を作成し、鉱物や組織の観察、EPMAによるカルサイト、ド

ロマイトの化学組成の分析、質量分析計によるカルサイト、ドロマイト、グラファイトの同位体比測定が挙げられる。

結晶質石灰岩の薄片観察において、フォーステライトやスピネルなどに炭酸塩の包有物が見られた。この包有物は周囲の鉱物に取り込まれた時点で閉鎖系となったため、高温時の Mg 含有量を保存している可能性が高い(Ferry, 2001)。包有物を観察した結果、カルサイトとドロマイトの分布により3つの種類に分けることができた(図1, 2, 3)。中でも、ドロマイトの離溶が発達しているカルサイトの包有物(図2)は元素移動の高い温度を記録していると考えられ、この包有物が示す温度が変成温度であると推定できる。その方法は、カルサイトやドロマイトの面積を用いて Mg 成分を補正し、温度を算出する再統合法である。これは Puhon (1976)で述べられているように、ドロマイトの離溶が見られても最高到達温度を推定できる方法である。それぞれのサンプルの変成温度を求めた結果、770~890℃を得ることができた。また、誤差は最大でも±20℃ほどであった。この結

果は、以前にこの地域で求められた超高温温度範囲と一致する。

カルサイトーグラファイト、ドロマイトーグラファイトの炭素同位体分別係数の温度依存性を評価した結果、それぞれ 800℃, 890℃までの経験的整合性のある炭素同位体地質温度計を求めることができた(図4, 5)。

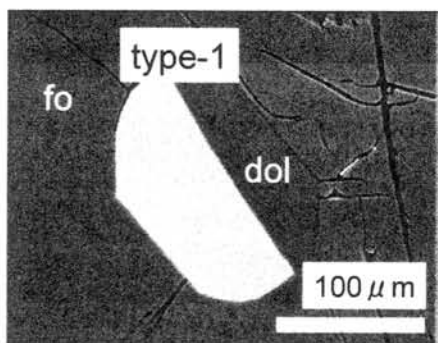


図1. 炭酸塩包有物の BSE 画像

(cc: カルサイト, dol: ドロマイト,
fo: フォーステライト)

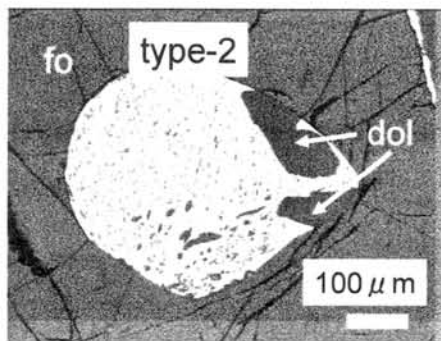


図2. 炭酸塩包有物の BSE 画像

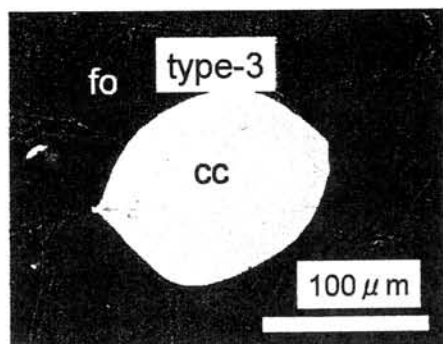


図3. 炭酸塩包有物の BSE 画像

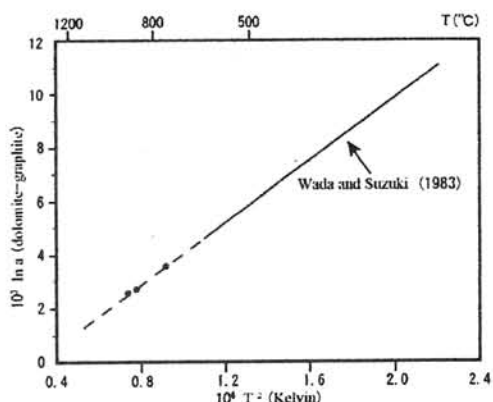


図5. 炭素同位体分別係数の温度依存性

(ドロマイトーグラファイト)

点線は Wada and Suzuki (1983)温度計
を延長したもの。

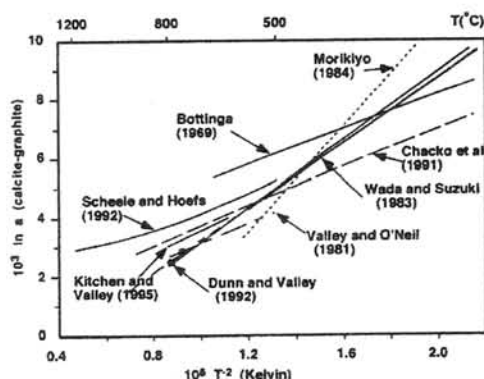


図4. 炭素同位体分別係数の温度依存性

(カルサイトーグラファイト)

点線は Wada and Suzuki (1983)温度
計を延長したもの。

Satish-Kumar *et al.* (2002)

引用文献

- Ferry, J. M., 2001, Calcite inclusions in forsterite. *American Mineralogist*, **86**, 773-779.
- Puhan, D., 1976, Metamorphic temperature determined by means of the dolomite-calcite solvus geothermometer-examples from the central Damara Orogen (South West Africa). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **58**, 23-28.
- Satish-Kumar, M., Wada, H. and Santosh, M., 2002, Constraints on the application of carbon isotope thermometry in high- to ultrahigh-temperature metamorphic terranes. *Journal of Metamorphic Geology*, **20**, 335-350.
- Wada, H. and Suzuki, K., 1983, Carbon isotopic thermometry calibrated by dolomite-calcite solvus temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **47**, 697-706.

Evolution of C-O-H-F fluids constrained from oxide assemblages of a suite of granulites from Eastern Ghats Belt, India

Sankar Bose (Dep. Geol., Presidency Coll.), Junji Torimoto (Hokkaido Univ. Museum), Kaushik Das (Dep. Geol., Bengal Engineering and Science Univ.), Ichiro Ohnishi (Electron Optics Division, JEOL Ltd.), Subrata Karmakar (Dep. Geol., Jadavpur Univ.), Keiji Shinoda (Dep. Geoscience, Osaka City Univ.) and Somnath Dasgupta (Indian Institute of Science Education and Research)

Eastern Ghats Belt of India exposes deep crustal section in the form of high-grade granulites occurring in extensive area. Petrological study in this belt during the last two decades unravels pressure-temperature evolutionary history of this belt. It is now well known that rocks of this belt witnessed metamorphism at high temperature (HT) to ultrahigh-temperature (UHT) conditions. Although it is well-known that metamorphic fluids play important role in bringing about significant metamorphic changes, its role in petrogenesis of Eastern Ghats granulites is at very primitive stage. Therefore, a comprehensive study involving pressure-temperature-fluid evolution would be a more realistic approach for character-

ization of lower crustal processes that developed the Eastern Ghats granulites.

In the present study, We document complex intergrowth involving spinel-ilmenite-magnetite-hematite-corundum-rutile in various combinations from a suite of granulite facies rocks of Eastern Ghats Belt. The rock suite contains aluminous granulite (spinel-garnet-orthopyroxene-sillimanite-cordierite-quartz-feldspar gneiss), leptynite (garnet-ilmenite-quartz-feldspar gneiss), charnockite (orthopyroxene-ilmenite-quartz-feldspar gneiss) and pegmatite (megacrystic garnet-perthite-biotite-ilmenite-quartz-plagioclase). Individual oxide phase shows considerable compositional variation among textures and samples. We

argue that such textures could form by oxidation reaction of early spinel and ilmenite solid solution from near-peak to subsequent retrogressive stages ($>900^{\circ}\text{C}$). Oxygen fugacity is measured at constant pressure of 8 kbar and different temperatures estimated from geothermometric analyses involving oxide and silicate-bearing equilibria in different samples. The estimated $f\text{O}_2$ values are 2 to 3 log units higher than the QFM buffer except for one sample (the late pegmatite). Uncertainties in $f\text{O}_2$ calculation in some samples are high, presumably due to extensive compositional readjustment of different oxide systems at lower temperatures. The persistence of high $f\text{O}_2$ in mineral assemblages could be inherited from an oxidized precursor, but field evidence and presence of $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ -rich fluid inclusions in the studied samples imply possible involvement of externally-derived oxidizing fluid in the later part of the retrograde history. Experimental and natural data suggest CO_2 charged brine solution could be suitable for oxidation of mineral assemblages. Although we couldn't detect any brine inclusion but fluorine enriched nature of biotite grains could possibly provide some indication for its presence. The mixed fluid possibly has its source in the crystallizing mafic magma emplaced at the lower crust that is exposed in the adjacent area.

南大洋インド洋セクターコンラッド海台に記録された 完新世における気候の変動と周期

香月 興太¹・池原 実¹・野木 義史²・横山 祐典³・山根 雅子³

(¹高知大学, ²国立極地研究所, ³東京大学)

Climate shift and oscillation of Holocene on the Conrad Rise in the Indian Sector of the Southern ocean

Kota Katsuki¹, Minoru Ikehara¹, Yoshifumi Nogi², Yusuke Yokoyama³, Masako Yamane³

(¹Kochi Univ., ²National Institute of Polar Research, ³Univ. of Tokyo)

完新世の気候変動は氷期と比較すると穏やかであり、これまであまり注目されてこなかった。しかし、地球温暖化現象が問題となり急激な環境変化が人為的に引き起こされている今、完新世の気候システムを理解することは本来の地球環境を知る上で非常に重要である。そこで他の海域と比較して研究が遅れている南大洋インド洋セクターの海底堆積物を対象に珪藻遺骸群集・同位体分析を行い、完新世の古環境復元を数十～百年単位で行った。

本研究で用いた試料は、2008年のKH07-04 Leg.3航海において南大洋インド洋セクターコンラッド海台で採取された COR-IPC (54° 16' 04"S, 39° 46' 00"E, 水深: 2,864 m)である。堆積物試料の年代は浮遊性有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) の AMS ¹⁴C 年代より求められた。COR-IPC はすべて Diatom Mat により構成され、珪藻殻以外の構成物は非常に少なく、棒状の珪藻 *Thalassiothrix antarctica* で出来た骨格をその他の珪藻が充填する形で形成されている。特に羽状目珪藻 *Fragilariopsis kerguelensis* の頻度は高く、コアボトムを除くすべての層準で群集の 65%以上を占めている。

完新世におけるコンラッド海台付近の海洋変動は珪藻群集の変動から 3つの時代に区分することが出来る。完新世初期にあたる 9,700 年以前は海水種や寒冷種の出現頻度が高く、海水分布域やそれに伴った冷水塊が低緯度域コンラッド海台上まで張り出していたと考えられる。COR-IPC で 9,700 年前に見られた海水種や寒冷種の急激な減少は、

南大洋では deglaciation において一般的にみられるが、大西洋セクターでは主に 11,000 – 12,000 年前に発生しており、インド洋セクターにおける海水分布域の縮小は大西洋セクターに比べ 1,000 – 2,000 年程度遅れて発生したと推測することが出来る。海水種の減少後は代わりに温暖種の出現頻度がピークを迎え、この時代は逆に極前線がコンラッド海台付近まで南下し暖水塊の影響があったことが推察される。ただし、インド洋セクターにおける温暖な時代は短く 500 年程で再び極前線は北上する。9,200 年前以降定期的な寒冷種の増加や酸素同位体比の変化がみられ、約 4,000 年前から寒冷化したことを確認することが出来るが前述の変化に比べるとその規模は小さい。COR-IPC における 9,200 年前以降の寒冷種や重い酸素同位体比の増加周期は極域試料の放射性核種の変動周期と似通っており、炭素同位体比の変動も南緯 60 度における夏場の日射量変動と高い相関関係にあることから、コンラッド海台付近における表層海水温や生産量変動は太陽光の照射輝度に影響されている可能性が考えられる。

従って、完新世のコンラッド海台付近の海洋環境は水塊構造の変化による急激で大規模な変動と極域の気候変動に由来する小規模な変動に影響されていると考えられる。またインド洋セクターの水塊構造の変動は大西洋セクターと比較して 1,000-2,000 年程遅れて発生すると思われる。

南極海コア LHB-3PC に記録された過去 60 万年間の放散虫群集

板木拓也 (産総研)・池原 実 (高知大学)

菅沼悠介 (極地研)・香月興太 (高知大)

Radiolarian fossil record in core LHB-3PC from the Antarctic Ocean during the past 600 kyr

Takuya Itaki (Geological Survey of Japan, AIST), Minoru Ikehara (Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University), Yusuke Suganuma (Geoscience Group, National Institute of Polar Research), Kota Katsuki (Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University)

1. はじめに

放散虫は、大きさが数十～数百 μm の海洋性プランクトンである。放散虫の中でも Polycystina グループは、珪酸塩の硬骨格を有しており堆積物中に化石として保存されやすい。南極海の海底堆積物には、放散虫殻が多く含まれており、その化石記録から生層序や古環境に関する研究がなされてきた。また、最近では現世放散虫に関する研究の進展から、放散虫が表層のみならず中層や深層などいわゆる深海域の環境指標としても有効であることがわかってきた。

南極海の海洋環境変遷史を明らかにすることを目的として、リュッツホルム湾沖 (66°00'S, 40°00'E, 4469m) から海底コア LHB-3PC (長さ 7.3m) が白鳳丸の KH07-4, Leg-3 航海において採取された。本研究では、本コアの放散虫化石を調べ、堆積年代の推定および古海洋環境に関して若干の考察を行った。

2. 放散虫の産出状況

放散虫化石は分析した全ての試料から産出し、その保存状態は不良～普通であった。堆積物乾燥重量 1g 当たりに含まれる放散虫個体数はコアを通して大きく変動し (0～12 万個/g), 4.5m より下位ではその上位に較べて著しく少ない。放散虫が多産する層準は珪藻質軟泥の層準とほぼ一致し、少ない層準では陸源性の碎屑物が主要な構成成分となる。

本コアに保存されていた特徴的な放散虫としては、*Actinomma antarcticum* Haeckel, *Actarctissa* spp., *Spongostochus glacialis* Popofsky, *Cycladophora davisiana* Ehrenberg などが挙げられ、何れも南極海の寒冷な水塊に特徴的なものである。ただし、優占する種は層準によって大きく異なる。

3. 生層序

南極海域における中期～後期更新世の生層準としては、*Stylatractus universus* Hays の消滅層準 (42 万年前) と *Antarctissa cylindrica* Popofsky の消滅層準 (60 万年前) が知られている。コア LHB-3PC には少量ながらもこれらの種が産出し、それぞれのバイオイベントが 5.1m と 6.9m に対応する。ただし、産出頻度は何れも低く、これらのイベントの上位は放散虫そのものの産出も少ないことから、実際の消滅はより

上の層準で起こっていた可能性を否定出来ない。実際、コア LHB-3PC に認められたこれらのイベントの層準は、古地磁気やオパール産出量などから推定されている年代値よりもやや古い時代に対比される。

南極海とその周辺海域では、*Cycladophora davisiana* Ehrenberg の全放散虫に対する相対頻度が氷期に高く間氷期に低くなることから、その頻度変化を酸素同位体比ステージと同様に対比することが可能である。コア LHB-3PC から得られた *C. davisiana* % 変化からも明瞭な氷期-間氷期の増減が認められ、酸素同位体比ステージ (MIS) 1～16 までの詳細な対比が行われた。

これらの放散虫のバイオイベントに加えて、珪藻の生層序および磁性鉱物粒径変動と酸素同位体比曲線の対比を組み合わせて年代モデルが構築されている (Suganuma et al., in prep.). それによれば、本コアは過去 65 万年間を連続的に記録しているものと考えられる。

4. 古環境

放散虫は海洋生態系では二次生産者として位置付けられるので、その個体数の変動は海洋の生産性を反映したものであると考えられる。実際、オパール濃度の高い珪藻軟泥の層準で放散虫の産出量も高いことから、珪藻のような基礎生産者が繁茂して放散虫も増加したものと考えられる。このように放散虫が増加するのは、間氷期に限られるが、40 万年前 (MIS-11) よりも以前に関しては間氷期においても産出量は少ない。

放散虫の少なくなるコアの下部では、放散虫試料の処理の過程で細礫サイズの陸源粒子が頻繁に認められた。その産状はタービダイト層とは異なっており、氷床が運んだ IRD (Ice-Rafted Debris) と考えられる。このことは、南極大陸から海洋に張り出した氷床が 40 万年前以前においてそれ以降よりも顕著であったことに関連して、海洋の生産性が抑制されていた可能性を示している。その後、二度の顕著な IRD イベントが見られるが、何れも間氷期 (酸素同位体ステージ 9 および 11) の基底付近にあり、氷期から間氷期にかけて生産性が増加する途中で氷床の崩壊が起きていた可能性がある。

南極海リュツォホルム湾沖コアにおける過去 65 万年間の 有機炭素量および有機炭素同位体比の変動

岡本周子・池原実 (高知大学)

Variations of organic carbon content and carbon isotopes of organic matter off
Lützow-Holm Bay in the Antarctic Ocean during the past 650 kyrs
Shuko Okamoto and Minoru Ikehara (Kochi University)

1. はじめに

南半球高緯度地域の水温や気温などの変動がグローバルな気候変動に先行して変化している可能性が指摘されており、過去の地球環境変動に対する南大洋の役割が重要視されている。特に氷期-間氷期サイクルと密接に関わっている大気 CO_2 濃度を変動させた原因およびプロセスがどのようなものであるかという問題が近年の古気候・古海洋研究の大きな課題となっている。南極前線より南の南極表層水域における古海洋変動記録は極めて限られており、その詳細は依然不透明である。このような背景の下、南極表層水域における氷期-間氷期スケールの生物生産量変動を明らかにし、表層環境変動との関係について考察を行った。

2. 試料

本研究では、白鳳丸 KH07-4 Leg.3 航海において南大洋リュツォ・ホルム湾沖 (南緯 66 度, 東経 40 度, 水深 4469m) で採取されたピストンコア (LHB-3PC) を使用した。LHB-3PC は全長 734cm の珪質遺骸を多く含むシルト質粘土から構成される。コアの年代モデルは、相対古地磁気強度、珪藻および放散虫による微化石層序によって構築され、コア最下部の年代は約 65 万年前に相当することがわかっている (Suganuma et al., in prep.)。

3. 分析方法

LHB-3PC コアから約 1cm おきに採取した堆積物を乾燥・粉末化した後、3N 塩酸で炭酸塩を除去した。炭酸塩除去後の堆積物を錫コンテナに 80mg 秤量し、元素分析計オンライン質量分析計 (EA/IRMS) を用いて有機炭素量 (TOC) と有機炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) を測定した。

4. 結果・考察

LHB-3PC の TOC は 0.04%~0.4% の範囲で変動し、氷期に減少し、間氷期に増加している。0.1% 以下の低い TOC が複数の試料から検出されたが、それらはタービダイト層に相当し、それ以外の通常期の堆積物は 0.1% 以上の濃度を示す。これらの TOC 変動は、同コアのオパール量変動 (Khim et al., personal com.) とほぼ整合的な結果であった。つまり、TOC 変動に強く影響を与えているのは、表層に生息する珪藻などの珪質殻を持つプランクトンの生産量であると考えられる。従って、南極表層水域では間氷期に生物生産量が増加し、氷期には低下していたと推測される。

$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は -26‰~-22‰ の範囲で変動しており、間氷期で重く氷期で軽くなる傾向を示す。東南極 Breid 湾のセディメントトラップ実験によると、夏季ブルーム初期の沈降粒子の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は約 -23‰ であり、早い成長速度を反映して相対的に重い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ を示すが、ブルーム後期では -26‰ と軽い値にシフトすることが報告されている (Handa et al., 1992)。従って、LHB-3PC コアにおける氷期の軽い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は、何らかの要因によって南極海表層での生物生産量が抑制されていたことを示唆しているかもしれない。また、Gibson et al. (1999) は、アイスアルジー由来の有機物の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ がおよそ -20‰ よりも重い値をとることを示したが、LHB3PC ではそのような重い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は得られていない。よって、コア地点でのアイスアルジーによる有機物埋積の寄与は小さいと推測される。

東南極リュツォ・ホルム湾における完新世の古環境変遷

澤田秀貴 (高知大・院)・池原実 (高知大)・三浦英樹 (極地研)・岩崎正吾 (北見工大)
澤柿教伸 (北大)・菅沼悠介 (極地研)

Paleoenvironmental changes in the Lützow-Holm Bay, Antarctica during the Holocene
H. Sawada (Kochi Univ.), M. Ikehara (Kochi Univ.), H. Miura (NIPR), S. Iwasaki (Kitami Univ. of
Tech), T. Sawagaki (Hokkaido Univ.), Y. Suganuma (NIPR)

1. はじめに

南極域における古環境学および古海洋学的研究は、地理的および環境的な制約により試料を採取することが非常に困難であることから、他の地域や海域に比べ遅れを取っていた。南極域における完新世の気候変動である Neoglacial や Mid-Holocene Climatic Optimum の規模やタイミングについても共通認識は得られていない。南極周辺における古環境復元データを蓄積すると共に、これらの変動の詳細とそのメカニズムを明らかにすることは、第四紀後期の南極研究の大きな課題である。そこで、本研究ではリュツォ・ホルム湾から採取された堆積物コアを用いて、完新世の古環境復元を行った。

2. 試料と分析

本研究試料は、JARE47 においてリュツォ・ホルム湾内の海氷上から採取された 3 本のグラビティコア (LHB060908-1: スカルプスネスオーセン湾:水深 50m、LHB060930-1: 昭和基地沖:水深 229m、LHB061108-1: オングル海峡:水深 605m) である。LHB060930-1 と LHB061108-1 は、氷床によって剝削、運搬された陸起源砕屑物を多く含む。一方、アイスストリームの流路に位置

しない LHB060908-1 の堆積物は珪藻殻が多くを占めている。これらのコアについて、紫外可視分光光度計を用いて生物源オパール量を求めた。また、元素分析計オンライン質量分析計 (EA/IRMS) を用いて全有機炭素量 (TOC)、全窒素量 (TN)、バルク有機炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) を測定した。さらに、磁化率異方性測定装置 (KLY-3S KAPPABRIDGE) を用い磁化率 (MS) を求めた。なお、各コアについては下部でバルク有機炭素の ^{14}C 年代値が得られており、池原ほか(2007) で非破壊測定もなされている。

3. 結果と考察

LHB060908-1 におけるオパール% は平均 53.3% と高く、LHB060930-1 および LHB061108-1 では 9.5% と 14.4% であった。また、LHB060908-1 の TOC も 0.05~3.30% (平均 2.16%) であり、LHB060930-1 の平均 TOC% (0.05%) に比べて明らかに高い値を示した。これらの結果は、流入する陸起源砕屑物の量に影響されていると考えられる。LHB060908-1 における TOC やオパールの層位的変動をみると、中位から下位では TOC と生物源オパールはよく一致した変動を示す。一方、LHB060908-1 の磁化率は、コア最下部付近の重力流堆積物と考

えられる粗粒砂層以外の大部分ではほぼ0を示すことから、スカルプスネスオーセン湾内では碎屑粒子の流入がほとんどなく、珪藻を主体とする珪質プランクトン遺骸が堆積物の主成分であると推測される。LHB060908-1の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は-19.3~-21.1‰で変動し、平均値は-20.0‰であった。一般に、極前線以南の南大洋における懸濁態有機物や表層堆積物の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は、中低緯度域に比べて軽い炭素同位体比（-24~-30‰程度）をとることが知られている（例えば、Rau et al., 1989; Ohkouchi et al., 2000; Lourey et al., 2004）。このような軽い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は、低水温による高い CO_2 分圧や低い成長速度の影響によると解釈されている。これに対し、スカルプスネスオーセン湾の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は明らかに重い値を示した。このような重い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ を説明するためには、上述の CO_2 分圧や成長速度以外の要因も考慮する必要がある。Gibson et al. (1999)は、東南極ブリッツ湾でのセディメントトラップ実験から、アイスアルジー由来の有機物の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ がおおよそ-20‰よりも重い値をとることを示した。したがって、スカルプスネスオーセン湾の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は主にアイスアルジー由来の有機物の情報を反映している可能性が高い。また、肉眼観察、スミアスライド観察、炭酸塩分析から有孔虫は全く含まれていないことがわかった。

昭和基地周辺の氷河性堆積物中の磁性鉱物の酸化状態について

中井睦美 (大東文化大学) 石川尚人 (京都大学)

The oxidation of the magnetic minerals within the glacial deposits around the Showa Station.

Mutsumi Nakai (Daito-Bunka Univ.) Naoto Ishikawa (Kyoto Univ.)

堆積物中の磁性鉱物は、堆積時の環境あるいは堆積後の環境の環境指標になることが知られており、これらについて研究する分野は環境磁気学と呼ばれている。これら磁性鉱物が環境指標になるのは、鉄を代表とする自然界の磁性鉱物が酸化物、硫化物、水酸化物などとして存在し、常温でも周囲の酸化還元状態に影響されて変化することに関連している。また、バクテリアなどによる生物活動も関与する。ただし、こういった磁性鉱物の種類は、砕削物であれば源岩の影響により初生的に変動し、さらに、風化、削剥、運搬、堆積および堆積後の環境の影響を受ける事になる。堆積している砕削物中の磁性鉱物を環境指標として古環境を判断するためには、磁性鉱物が生成あるいは変化した環境が、上記の源岩なのか、その後のどこの状態なのかを吟味する必要がある。本研究では、プリッツ湾に近い海域の海底から採取された砕屑性堆積物（シルト）中の磁性鉱物と、比較的近い大陸域である昭和基地周辺に分布する氷河性堆積物中の磁性鉱物を比較し、磁性鉱物の変化が、陸上でおこったのか海洋でおこったのかについて検討する。

磁性鉱物の判定・比較には、高温と低温の熱磁化曲線をもちいた。高温熱磁化曲線は、東洋大学の振動型磁力計を用いて、1 T の外部磁場をかけたまま、 2×10^{-6} Torr の近似真空中で 600°C まで加熱冷却して磁化強度の変化を測定した。低磁場の熱磁化曲線は、高知大学海洋コア総合研究センターの Magnetic Property Measurement System (MPMS)を用いて、真空中で 10K まで低温

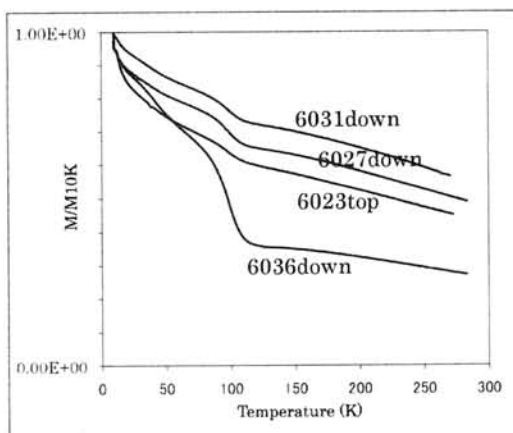


Fig.1 Normalized high field remanence (1T DF field at 10K) during warming from 10 to 270 or 280K of four samples within the core sediments taken from the Antarctic seafloor, near the Prydz Bay (after Nakai *et al.*, 2006 in Japanese).

にし、1 T をかけて得られた残留磁化の変化を 270 あるいは 280K まで、あたためながら測定した。

東南極大陸プリッツ湾周辺の B-M 境界以降の砕削性堆積物中の磁性鉱物は、magnetite や maghemite が一般的であり、一部 hematite を含む (中井ほか, 2006, Florindo *et al.*, 2003)。これらは、基本的には酸化環境の磁性鉱物である。プリッツ湾近辺で採取された旧石油公団 TH85 航海のピストンコア PC602 (40.008E, 60.442S; 深度 4639m), PC603 (43.030E, 66.001S; 深度 3157m) から採取した Pilot sample の低温熱磁化曲線を Fig.1 に示した。この図の曲線では、120K 近辺に明確な Verwey transition が観察され、どの試料も、Ti の

少ない magnetite を含むものの 120K 以下の緩やかな曲線から、これらの鉱物は低温酸化を受けて maghemite 化していることがわかる。maghemite が含まれる事は、振動型磁力計による高温熱磁化曲線の冷却時の磁化強度が過熱時より 2 倍以上大きくなっていることによっても検証された。

陸上の氷河性堆積物に関する低温熱磁化曲線の測定結果が Fig.2 である。あかるい岬の試料はモレーン堆積物であるが、あとの 6 サンプルは地層中の試料で、陸成堆積物である。この図の曲線から、これらの試料は 120K 付近で明確な Verwey transition を表し、Ti の少ない magnetite であり、120K 以下の曲線の形状から、ほとんど低温酸化を受けていない事がわかる。これらの試料については、高温熱磁化曲線からも、冷却時の磁化強度は過熱時の曲線とほぼ同じで、冷却時磁化強度が増加しても増加率は 1 割以下であり、低温酸化はほとんど受けていない事がわかった。特にあかるい岬 (41.414E, 68.511S) のモレーン堆積物の試料は、純粋な magnetite に近く、陸上に長く露出している、南極の低温環境では、magnetite は低温酸化をしないことを示唆している。

両者の結果 (Fig.1 と Fig.2) を比較すると、陸上堆積物と海底砕屑性堆積物の磁性鉱物は、Ti を含まない magnetite を含むことが共通点であるが、低温酸化度は非常に異なる事が判明した。これらの堆積物の共通する源岩と予想されるクィーンモードランドなどに広く分布する変成岩類に含まれる magnetite は Ti に乏しいという特徴があり、両者の堆積物がそれらを源岩とすることは容易に予想される。一方、低温酸化度の違いからは、海底堆積物の受けている低温酸化は、陸上ではなく、海洋で堆積中あるいは堆積後にうけた可能性が高いと予想される。以上の結果は、今後南極大陸周辺海域の環境磁気学を研究する上で、重要な基礎データになると思われる。

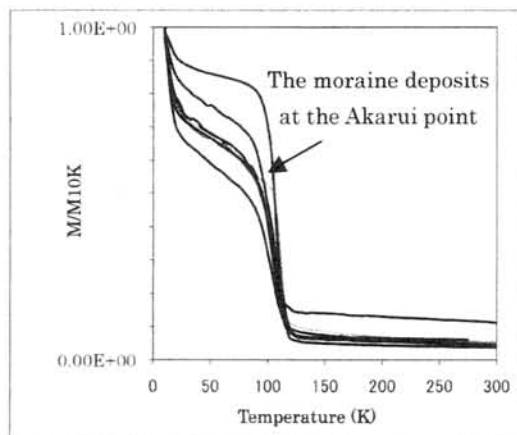


Fig.2 Normalized high field remanence (1T DF field at 10K) during warming from 10 to 280 or 300K of seven samples within the Glacial sediments including the moraine deposits taken around the Showa Station, Antarctica.

国立極地研究所の三浦英樹博士には、試料を提供していただいた。東洋大学の土野直子教授には、振動型磁力計を使わせていただいた。また、本研究は高知大学海洋コア総合センターの共同利用研究の一部として行っており、同研究所の装置にて測定させていただき、小玉一人教授、山本裕二博士には多大なご便宜をはかっていただいた。以上の方々に感謝申し上げます。

文 献

Florindo *et al.* (2003), Magnetobiostratigraphic chronology and palaeo-environmental history of Cenozoic sequences from ODP sites 1165 and 1166, Prydz Bay, Antarctica. *PPP*, 198, 69-100.

中井睦美ほか(2006) 南極ウィルクスランド沖とデュモンデュルビル海海底堆積物コア資料中の磁性鉱物について. 大東文化大学紀要. 44, 1-16.

南極大陸 S16 周辺の氷床変動(Ⅱ)

白井宏樹・高畑嘉之・雨貝知美 (国土地理院)

Ice sheet movement around S16 Antarctica(Ⅱ)

Hiroki SHIRAI・Yoshiyuki TAKABATAKE・Tomomi AMAGAI (GSI)

1. はじめに

JARE 測地部門 (国土地理院) は、昭和基地の東方約 19km の南極大陸上に位置する S16 内陸拠点周辺において、1996 年 12 月 (JARE38) から夏期間に GPS 観測を実施している。この観測目的は、大陸氷床の変動把握にあり、これまでの観測結果からこの地域における水平方向の変動量は、西北西方向に年間約 5 m であることが把握できた。本稿では、これまで十分に検討ができなかった鉛直方向の変動も含めた考察をしたので結果を報告する。また、干渉 SAR 観測の結果についても併せて報告する。

2. GPS 観測の概要

GPS 観測地点は、S16 内陸拠点周辺の 3 点 (P50, S16, S17) で実施している (図-1)。それぞれの観測点には、測量用の赤白ポールを設置しており、観測時にはポール直上に三脚を設置して GPS アンテナをセットしている。観測時間は 24 時間、観測間隔は 30 秒間隔を標準に実施している。これまでに、ポールが積雪による埋没や強風による損傷などがあり、その際にはポールの交換や継ぎ足しを行ってきた。ただし、S17 観測点はポールを亡失してしまい、2001 年 12 月にポールの再設置をしている。

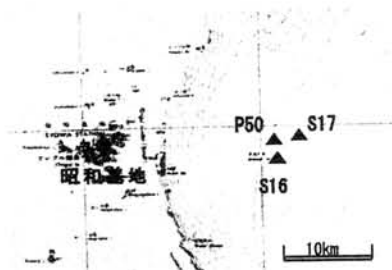


図-1 観測地域図

3. GPS 観測の結果

基線解析は、昭和基地の GPS 連続観測点 (IGS-SYOG) を基準点として、それぞれの観測点の位置を決定し、解析ソフトウェアは、GAMIT/GLOBK を使用した。

S16 観測点の水平方向の変動は、全期間を通してほぼ一定方向 (平均 270°) 及び速度 (平均 5.0m/year) で推移しており、大きな時間変化がないことがわかる (図-2, 3)。

鉛直方向の変動は、設置したポールが長期間にわたる積雪や強風により埋没や損傷している場合もあり、その際には当初設置のポール上面の高さに補正して処理をした。今回は、ポール上面と雪面の変動を解析した (図-4)。ポール上面の変動起因は、地形による変化が考えられ、大陸からリュツォ・ホルム湾 (オングル海峡) へ向かって流れることによりポール上面の高さが低くなる傾向 (平均 -0.2m/year) が見られる。S16 観測点から P50 観測点へは平均約 3% の氷床表面の傾斜があるが、S16 観測点の楕円体高の変動量は、解析結果から約 4% の傾斜に当たることが確認できた。

一方で、雪面の変動は一定の傾向が見られず、各年における積雪量差に起因するものと考えられる。

また、2007 年 1 月から 2008 年 1 月まで P50 において、JARE48 地圏部門で GPS 連続観測をしており、この水平及び鉛直成分の変動量の結果とも相関していることが確認できた。

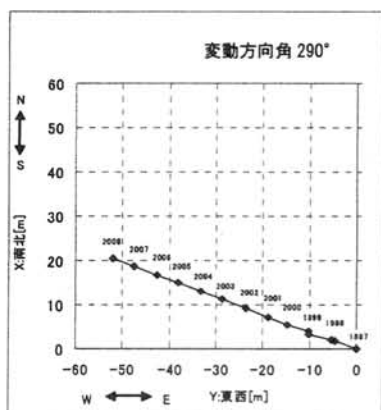


図-2 水平成分変動量図(S16)

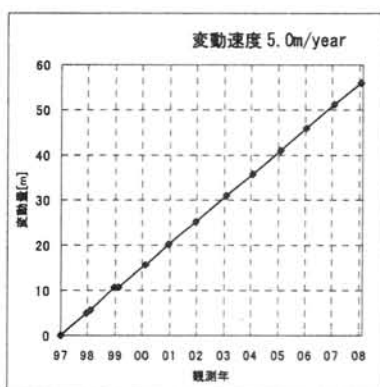


図-3 水平成分変動速度図(S16)

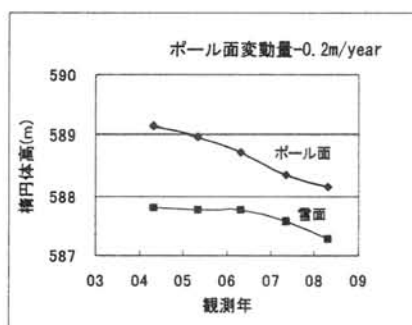


図-4 鉛直成分変動量図(S16)

4. 干渉 SAR 観測の結果

南極氷床は広大かつ特殊な地域であるため、GPS 等の現地における測地測量は時間的にも

空間的にも密に観測することは困難である。そのため、南極氷床の観測では人工衛星の利用が必要不可欠であり、これまでも干渉 SAR 技術を用いて、氷床変動の検出の試みが試されてきた。これらの試みは、これまで南極大陸における正確な地形標高モデル (DEM) がないことから、小澤ほか (2000) のように、3 期間の SAR 画像から 2 組の SAR 干渉画像を作成し、地形を補正する手法 (3 パス法) が使われてきた。しかし、南極氷床の場合、常に全域で複雑な変動していることから、地形の補正が困難であった。

2009 年 6 月から公開された数値地形データ「ASTER GDEM」(経済産業省/米国航空宇宙局) は、南極大陸を含む地球の陸域全てを対象としている。これにより、南極大陸においても、SAR 干渉解析では一般的で容易な手法である、DEM を用いて地形を補正する手法 (2 パス法) が適用できる。

図-5 は、陸域観測技術衛星「だいち」による、南極昭和基地と S16 周辺における SAR 干渉画像である。ASTER DEM を用いた 2 パス法を適用した。画像に見られる縞は、縞の間隔が密なほど急激な動きを、広いほど緩やかな動きであることを示す。

図-5 から、氷床全域が海岸線に向かって変動していることが分かる。特に、内陸は縞の間隔が広く、緩やかに変動しているのに対し、海岸線に近い地域ほど縞の間隔が狭くなり、急激に変動している様子が見て取れる。この急激な変動に変わる境界線は、地形が急斜面となる境界と一致し、海に向かって移動してきた氷床が、一気に海に落下していく様子を示している。また、海岸線付近が干渉していないことは、2 期間の表面の形状が大きく変化したことを示しており、氷床が一気に落下したことを裏付けている。ただし、GPS 観測から年間約 5 m の変動が確認されている S16 付近 (図-6) は、その周辺と比べると干渉も良く、縞の間隔も比較的緩やかである。このことから、S16 付近は、表面の形状が大

大きく変化することなく、ベルトコンベアに運ばれるようにずらずと移動していることが分かる。また、白楕円で囲んだ地域では、その他の地域と比べると暗くなっている。これは、レーダーが氷床内部に透過し、反射波が少なかったことを示す。このように、レーダーの反射は必ずしも氷床の表面だけでなく、内部への透過・反射が起こるため、SAR 干渉画像で得られる変化が必ずしも地表の変化だけを反映していると限らないことに注意しなければならない。



図-5 昭和基地周辺の SAR 干渉画像

(2006. 11. 27—2007. 01. 12)

観測データ : ALOS/PALSAR

使用 DEM : ASTER GDEM



図-6 SAR 干渉画像 (拡大図)

5. 課題

干渉 SAR による氷床観測の有効性を確認するため、今後も干渉 SAR 観測を継続していく必要がある。また、得られた結果についても、GPS 観測との同時観測による検証や DEM の精度検証等が必要である。

謝辞

多くの方から、観測支援と助言をいただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 小澤拓・土井浩一郎・澁谷和雄(2000): JERS-1 の 3-パス干渉 SAR 法を用いた氷床変動・変形の検出, 測地学会誌, 46, 43-52.
- 経済産業省/米国航空宇宙局 (2009): ASTER GDEM, <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/J/index.html> (accessed 21 Aug. 2009)
- 白井宏樹・和田弘人・岡村盛司(2007): 南極大陸 S16 周辺の氷床変動, 第 27 回極域地学シンポジウム
- 本山秀明・古川昌雄・西尾文彦(2008): GPS 相対測位による最近の東南極氷床の白瀬流域及びドームふじ周辺の氷床流動観測, 南極資料 Vol. 52 特集号, 216-231

GPS 連続観測点による露岩域変動測量

高畑嘉之・白井宏樹 (国土地理院)

Monitoring Local Crustal Deformation by using the GPS Remote Base Station

Yoshiyuki TAKABATAKE・Hiroki SHIRAI

(Geographical Survey Institute)

1. はじめに

国土地理院では、露岩域の氷床変動、ポストグレイシャルリバウンドの検出を目的として、第41次観測隊で太陽電池と風力発電装置を有する無人のGPS連続観測装置（以下、固定観測点（LANG）という。）をラングホブデ雪鳥沢に設置した。昭和基地内のGPS連続観測点（以下、SYOGという。）を基点として相対的に基線解析をおこない、変動を捉えている。

これまで極夜期にデータ取得ができるよう電力確保の改良を重ねてきた。第44次観測隊における省電力型の受信機の導入、第46・47次観測隊では風力発電に換え、キャパシタを利用したPV-ECaSSの導入により、通年観測できる電力を安定的に確保できるようになった。

本稿では、第48次・49次観測隊で行った装置の改良と解析結果を報告する。

2. SYOGの受信機改良

第48次観測隊は、SYOGの受信機をTrimble社製の4000ssiから最新のTrimble社製NetRSへ変更し、既存の4000ssiを予備機としてバックアップ体制を強化した。第49次観測隊では予備機もNetRSへ変更した。

3. 固定観測点（LANG）の変更箇所

第48次観測隊ではアンテナレドームに付着する積雪を除雪する目的で超撥水塗料を塗布したレドームに変更した。第49次観測隊では現地にて再塗布している。

また、ソーラーパネルは東面、北面、西面の3面にそれぞれ4枚（1枚最大発電60W）備えている。東面はカタバ風による飛び石などの影響で保護用の5mm厚の強化ガラスも粉砕されたことからポリカーボネイトを新たに保護用として採用した。

4. 結果

固定観測点（LANG）のレドーム交換前後で南北方向、高さ方向に変動量の変化がみられた。また、2006年の極夜期の変動に比べ2007年の極夜期の解析結果は一定せず約±20mmのばらつきがみられた。

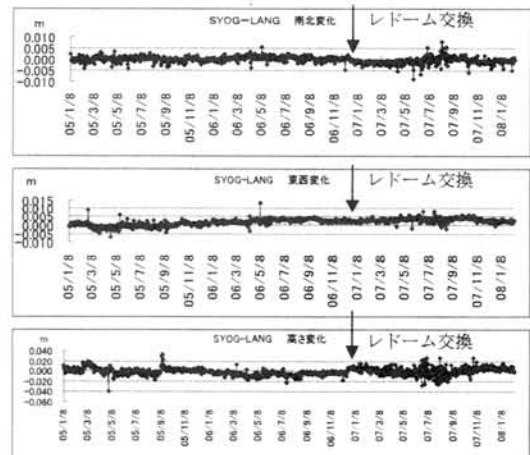


図-1 各成分の変動(2005-2007)

謝辞

極夜期のデータの乱れ等の対応が課題となっているものの、これまで多くの方のご支援・ご協力により2005年から3年間通年観測ができました。ここに記して感謝いたします。

南極昭和基地におけるインフラサウンド計測

石原吉明（国立天文台）・山本真行（高知工科大学）・金尾政紀（国立極地研究所）

Infrasound Observation at Syowa Station, Antarctica

Y. Ishihara (NAOJ), M.-Y. Yamamoto (KUT), and M. Kanao (NIPR)

1. はじめに

インフラサウンド（超低周波不可聴音）とは、人間の可聴域下の音波のことであり、空气中を疎密波が伝播する際に、大気弾性だけでなく、重力の影響を無視する事が出来なくなる遮断周波数（15℃等温大気の場合約3 mHz）より高く、人間の可聴域下限（20 Hz）より低い領域の音波をさす。インフラサウンドは、可聴域の音波と比較して非常に長距離伝播するといった特徴をもつ。大気中を伝播する疎密波の減衰は、伝搬距離に比例する幾何減衰と空気の粘性による内部摩擦に起因する内部減衰の足し合わせで決まるが、内部減衰は周波数の2乗に反比例するため、インフラサウンド帯域では内部減衰は小さく、ほぼ幾何減衰のみによって減衰するためである。例えば TNT 火薬 1 キロトンレベルの爆発により励起されたインフラサウンドは、数千 km 以上の長距離にわたって伝播することが知られている。現在、核実験探知を目的として、世界で 60 のアレー観測点（国内には千葉県夷隅市に IS30 の 1 観測点、日本気象協会が運用担当）からなる国際協定観測網が CTBTO によって整備されつつあり、巨大地震や津波、火山噴火にともなうインフラサウンドが捉えられている。しかしながら、これらの観測網は、非常にスパースである為、地球物理学現象（地震・火山噴火・氷震・落雷など）によって励起されるインフラサウンドを余すこと無くとらえるには不十分である。また、一部の国・地域においては、軍事

活動のモニタリング目的で、地震・インフラサウンド観測アレーが設置されているが、観測網の性質上データ利用には自ずと制限がある。そこで、我々は将来的なメソスケール程度のアレー観測網の展開をめざし、国内および南極昭和基地でのパイロット観測を開始している。また、観測点数を増やす為には、より安価なセンサーの開発が必須であるため、平行してセンサーの開発にも取り組んでいる。

本講演では、南極昭和基地でのパイロット観測の現状について報告する。

2. 南極におけるインフラサウンド観測

極域では、低緯度地域とは異なり、オーロラや氷震、また氷河や氷床の崩壊といった極地特有のインフラサウンド励起源が存在し、非常に興味深いフィールドである。しかしながら、極地であるが故に非常に環境が厳しく、また電力や通信インフラの確保という面から考えても、稠密である程度の空間的な広がりを持った観測網を展開することは非常に難しい。極地での観測点設置の基本方針としては、まずは観測基地をベースとし、その周辺にローカルな数点のアレー観測点からなる観測網を設置するという事となろう。すなわち、日本が主体となって進める観測網の展開に当たっては、CTBTO の協定観測網の観測点が米国やドイツの等基地に隣接して設置されているのと同様に、まず昭和基地の位置する東オングル島もしくはそのごく周辺に観測点を設置する事となる。昭和基地で

インフラサウンドを観測する利点には、電源や通信インフラが整備されている事だけではなく、広帯域・短周期地震計、超伝導重力計、SuperDARN レーダー、全天撮像カメラ等による観測が緊密な連携を保って行われていることがあげられる。地震計や重力計は固体地球の震動を、レーダーは超高層大気の状態を、全天撮像カメラはオーロラを捉えるために運用されているが、これらはすべてインフラサウンドとかわり合いのある現象である。上述のような既存の観測に加え、インフラサウンドを同時観測することによって、現象間の関係がよりいっそう明らかになることが期待される。

3. 昭和基地におけるパイロット観測

我々は昭和基地において、2007年3月より微気圧変動連続波形データ集録を開始した南極昭和基地における観測システムの耐候性能確認をかねた1センサーでのパイロット観測の現状について報告する。観測システム(図1)は、第49次南極観測隊・夏隊において設置後、必要最低限の健全性確認のみで、大規模な保守を行わずに2009年8月現在まで観測を継続している。昭和基地からのデータ回収は、衛星を用いたインターネット回線を利用し、ロガーに接続されたOpenBlockS266へFTP接続することにより、国内から断続的に行っており、ほぼ欠測なくデータ取得できている。(ただし、国内のデータ集録用PCのHDDトラブルにより、一部データに現在アクセス出来ない。)観測開始から1年以上経過し、冬期のブリザード等の極限環境下における健全性の確認が出来た。また、1素子のみの観測であるため、励起源の完全な特定には至っていないものの、静穏時のデータを解析すると、周波数

0.2 Hz 程度のインフラサウンドが連続して観測されており、オングル島周辺の海で定常的に励起されているインフラサウンドであると考えられる。また、エピソード的なインフラサウンドも多数検出されており、現在解析を進めているところである。

謝辞：本研究を進めるにあたり、南極昭和基地への観測機材設置・保守は、第49次南極観測隊に参加された愛知教育大学の戸田茂博士(夏隊)・国立極地研究所の青山雄一博士(越冬隊)をはじめとする地学隊員の方の多大なご協力をいただいた。九州大学の松島健教授には OpenBlockS266 を提供していただく等、収録システム構築に多大なサポート・ご助言をいただいた。データのFTP取得は高知工科大学の学生・鈴木敏史君の協力をいただいた。記して感謝いたします。また、本研究は科学研究費補助金・若手研究B(19740265)「極域におけるインフラサウンドの計測」の助成を受けたものである。

Schematic Diagram of Array Element (top view)

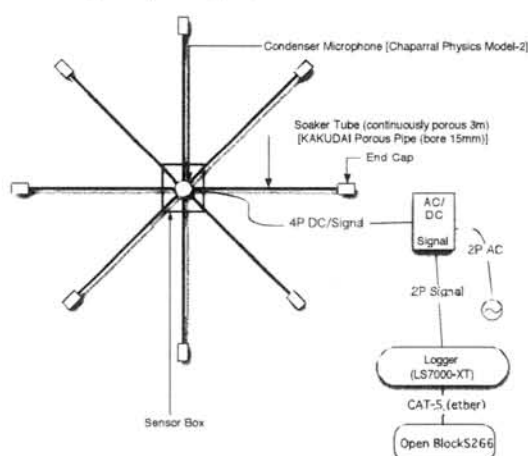


図1 観測システム概略

センサーは木箱に納められ、局地風の影響を軽減するため、8本の有孔ホースを接続して、機械的なローパスフィルター(空間平均機構)としている。

第49次越冬地圏モニタリング観測について

青山雄一、土井浩一郎、野木義史、渋谷和雄（極地研）

Monitoring of change in geosphere during the JARE49 overwintering

1. はじめに

固体地球ではマントルダイナミクス及びプレート運動等による相対運動や内部変形が生じている。また、地殻圏は大気、海洋、氷床変動の影響を受けて幅広い時間スケールで変動している。地球温暖化の指標である海水位の上昇は地殻隆起量を精度良く分離・補正して検知されなければならない。これら変動現象は宇宙技術をはじめとする各種の新技术で検出可能となってきたが、汎地球観測網を用いて包括的に観測する必要がある。南極における数少ない汎地球観測網の観測点である昭和基地において、また、往復航路上にて国際的基準に合致したデータを取得することは極めて重要である。以上のことから、昭和基地で地殻圏変動のモニタリング観測を維持している。第49次越冬期間中の観測について報告する。

2. 地殻圏変動モニタリング

往復しらせ船上においては、船上固体地球物理観測、海底圧力計観測、昭和基地ならびにその周辺では、短周期及び広帯域地震計による観測、超伝導重力計による重力連続観測、VLBI観測、DORIS観測、GPS観測、海洋水位変動観測、地電位連続観測、ALOS/PALSARのためのコーナーリフレクターの調整、地温観測などを行っている。

3. 概況

第49次夏隊が昭和を離れた2008年2月15日からオーロラオーストラリスで第50次地圏隊員が到着した2009年1月15日までの第49次観測隊越冬期間中は、これらの観測を1名で担当した。地震観測については、2009年3月の南極地震観測報告会にて報告しているので割

愛する。それ以外のモニタリング観測については、各項目で問題が発生したが、いずれも観測の継続に重大な支障をきたすまでには至らず、概ね順調にモニタリング観測を継続することができた。

GPS観測については、国土地理院のIGS点の維持に加え、沿岸露岩域での地殻変動モニタリング、海氷上でGPSブイを用いた海面変動観測、内陸での氷床高度測定、GPS反射波観測実験を実施した。地殻変動モニタリング観測では、ボツンヌーテン、オングルガルテン、向岩に新しい観測点を設置し、観測を行った。とっつき岬からスカーレンまでの領域の既存の観測点については、夏と冬の2回測定を行っている。第50次夏期間は、オーロラオーストラリスによる輸送であったため、沿岸露岩域における野外観測を行うことが出来なかったため、とっつき岬、ラングホブデ、スカルブスネスについては、11-12月に前倒しで観測を行った。フロート部に太陽電池パネルを付けたブイに、鉛電池と二重位相キャパシタを組み合わせた電源システムを搭載したGPSブイ、風力発電機を利用したGPS連続観測システムの試験観測、ならびにシェッグ山頂やみずほ基地で実施した専用受信機(試作機)によるGPS反射波観測実験では、色々課題が残った。今後、少しずつ改良を加え、極域で新しい観測データを得られるように研究を進めていきたい。



図1:GPSブイ
2008年9～
12月に弁天島
沖で試験観測
を実施。

南極GISについて

野木義史(極地研)・北本朝展(情報研)

Demonstrations of Antarctic GIS portal site

Yoshifumi Nogi (National Institute of Polar Research),
Asanobu Kitamoto (National Institute of Informatics)

GISとは、地理情報システム (Geographic Information Systems) の略称であり、PC上に地図情報やそれらに付加情報を持たせ、位置や場所から様々な情報を統合したり、分析したり、分かりやすく地図表現する事が可能なものである。現在、GISは、物流、行政や研究観測等、幅広い分野で利用されている。

南極の地図や地質図は、これまでほとんど紙地図であった。このため、簡易に地図上に緯度経度情報等をもとにデータを描画する等の作業が困難であった。そこで、PC上で最近広く利用されつつあるGISを利用し、南極の地図データをデジタル化を図り、研究者間等での容易な利用、および異種データ間の定量的な比較が可能となる基盤を確立する必要があった。このような状況の中、情報・システム研究機構の新領域融合研究センター内の新領域融合プロジェクトの一環として、南極GISポータルサイトを構築したので紹介する。

南極GISポータルサイトの構築には、ArcGIS9.3を使用した。南極GISの内容は、地形図、地質図、航空写真、衛星写真図や標高モデル等であり、これらがWEB上で表示できるようになっている。一般公開用のサイトは、<http://geogisopen.nipr.ac.jp/gisopen/index.html>(図1)、極地研所内のサイトは、<http://geogis.nipr.ac.jp/gis/>である。極地研所内のサイトは、所外のアクセスを制限しているが、共同研究の一環として固定IPアドレスを所得している所外のPCからでも、登録すればアクセス可能である。これらのサイトからは、Google EarthやOneGeology等との連携が可能である。極地研所内のサイトでは、より詳細な地質データの表示や、データのダウンロード等が可能である。表示例として、ラングホブデ近辺の地質図を示す。

今回構築した南極GISに関しては、紙地図

の座標が、もともと大きくずれているものがあり、SCARのもとに構築されている、ADD(Antarctic Digital Database)に可能な限り合わせたが、完全に補正されていない。これらのデータに関しては、今後の観測により改訂されれば、随時データも更新していく予定である。

本講演では、南極GISについて実際のPC上のWEBでの操作等について紹介し、利用していただくとともに、今後の南極GISの発展にむけて意見をいただきたいと考えている。

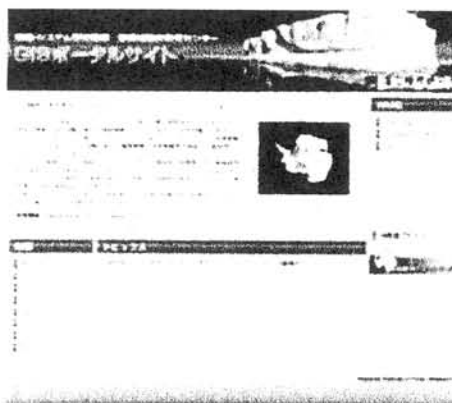
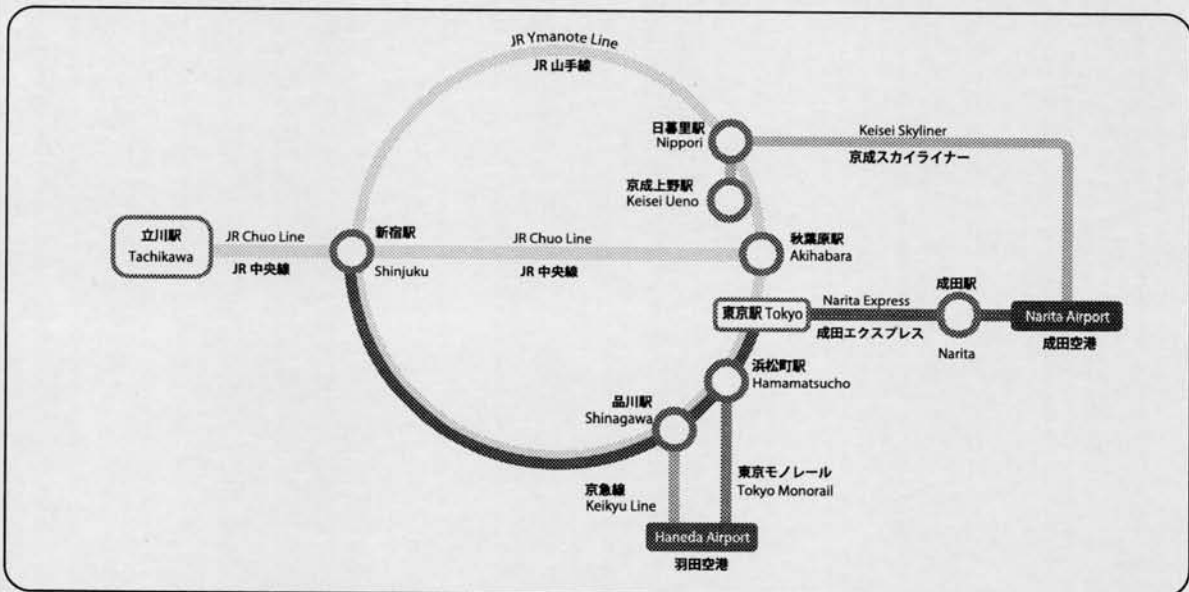
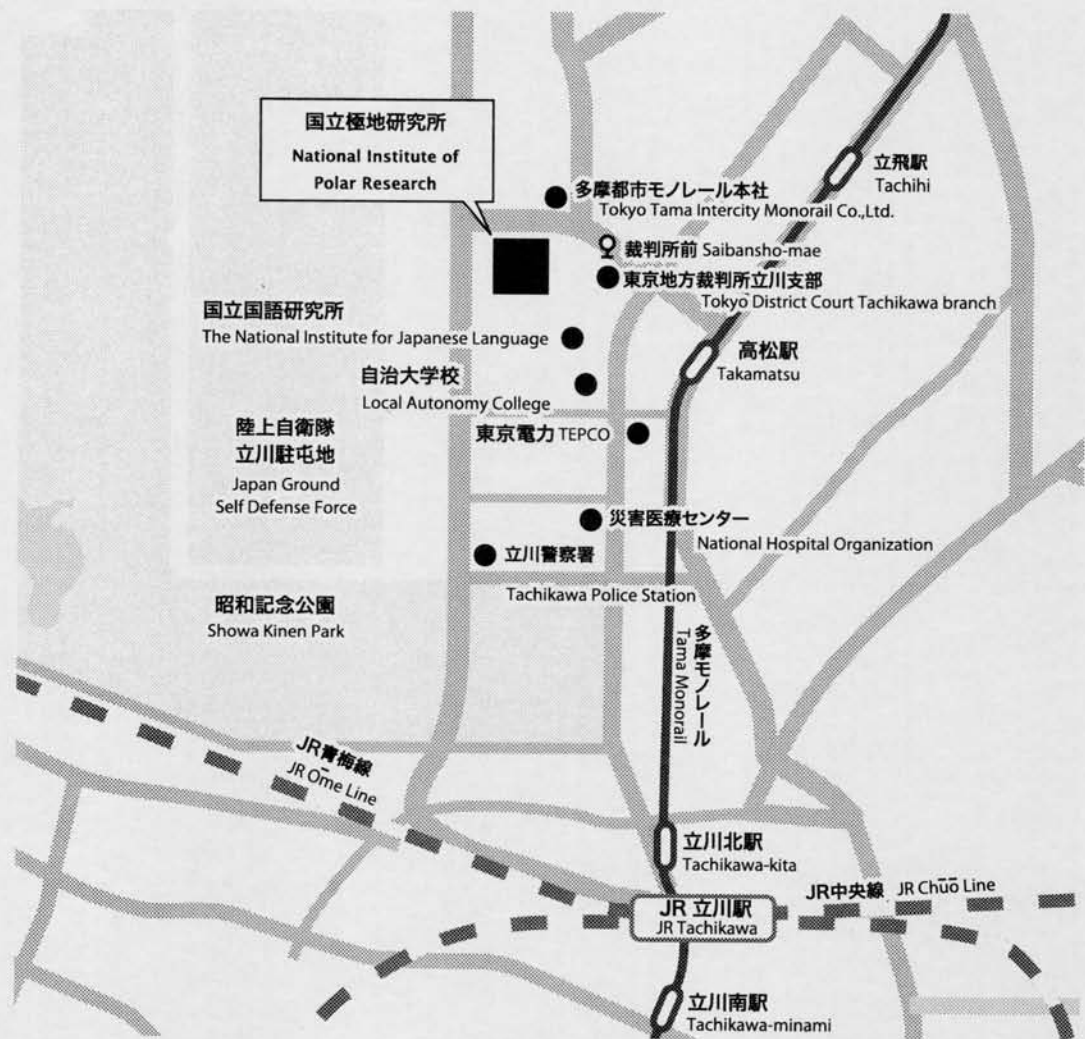


図1 一般公開用サイトの最初の表示画面。



図2 WEB上でのラングホブデ近辺の地質図。



国立極地研究所 〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3

極地研ホームページ: <http://www.nipr.ac.jp>

第 29 回極域地学シンポジウム: <http://polaris.nipr.ac.jp/~geo/jp/index.htm>

